บทที่ 2 ทฤษฎีสัมพันธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและค้นคว้าเอกสาร แนวความคิด ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่อง การผลิตกระดาษจากเยื่อลำต้นมะพร้าวผสมกับเยื่อยูคาลิปตัส โดยทำการค้นคว้าเอกสารดังต่อไปนี้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะพร้าว

2.2 แหล่งเส้นใย

2.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ

2.4 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

2.5 ประเภทกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์

2.6 สมบัติของกระดาษ

2.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน (มอก.287-2533)

2.8 ระบบการพิมพ์ออฟเซต

2.9 มาตรฐานการพิมพ์ของแผ่นพิมพ์ออฟเซต

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะพร้าว

มะพร้าวมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Cocos nucifera Linn อยู่ในวงศ์ Palmae มะพร้าวใช้ประโยชน์ได้แทบทุกส่วนจนได้ชื่อว่าเป็นต้นไม้ประจำชีวิต (The tree of life) มะพร้าวมีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต่อมาแพร่หลายไปยังอเมริกา อินเดีย มาดากัสการ์ และแอฟริกา ชาวสเปนเป็นผู้นำไปยังเกาะเวสท์อินดีส และทะเลแคริเบียนตอนใต้ ชาวโปรตุเกสนำไปปลูกในประเทศบราซิล และชาวโพลินีเซียนนำไปยังเกาะต่างๆ ในมาหาสมุทรแปซิฟิก แหล่งปลูกและผลิตมะพร้าวในปัจจุบันอยู่ตามหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก ทวีปอเมริกาใต้ ทวีปอเมริกาเหนือ เม็กซิโก อินเดีย ฟิลิปปินส์ ศรีลังกา อินโดนีเซีย และมาเลเซีย ในประเทศไทยปลูกมากที่จังหวัดชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช มะพร้าวน้ำหอมซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องดื่มบรรจุกระป๋อง และทำวุ้นมะพร้าวอ่อน ปลูกมากในจังหวัดสมุทรสาคร นครปฐม ราชบุรี และสมุทรสงคราม [5]

2.1.1 ประโยชน์ของมะพร้าว

เนื่องจากมะพร้าวเป็นผลไม้ที่มีมาพร้อมกับชีวิตคนไทย และคู่กับวัฒนธรรมไทย จึงทำให้เป็นที่รู้จักและนำมาใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง ในประเทศอินเดียเรียกว่า “กัลปพฤกษ์” เพราะทุกส่วนของ

มะพร้าวใช้ทำประโยชน์ได้ทั้งสิ้น เช่น ใช้ในครอบครัวเป็นอาหาร ใช้ประกอบการอุตสาหกรรม ทำเครื่องสำอาง ซึ่งจะแยกเป็นหัวข้อได้ดังนี้ [6]

1. เนื้อมะพร้าว และน้ำมะพร้าวใช้เป็นอาหาร ทั้งอ่อนและแก่ ทั้งแกง ต้ม ผัด และทำของหวานชนิดต่างๆ

2. น้ำมันมะพร้าว ใช้เป็นเชื้อเพลิงและใช้เป็นประโยชน์ทางอุตสาหกรรมโดยผสมกับวัตถุเคมีอย่างอื่น ทำน้ำมันเชื้อเพลิงเดินเครื่องยนต์ ทำน้ำมันหล่อลื่น ทำสบู่ เนยเทียม เครื่องสำอาง ผงซักฟอก ใช้ประกอบทางเวชภัณฑ์และปรุงอาหาร

3. ใบมะพร้าว ใช้ทำเชือก ยัดที่นอน ทำเบาะฟองน้ำ ทำแปรงทำความสะอาด

4. กะลามะพร้าว ใช้ทำภาชนะต่างๆ เช่น ซออู้ กระดุม กระบวย ช้อน เข็มกลัด แกะเป็นรูปต่างๆ ประดับบ้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเผาถ่านจะมีคุณสมบัติดูดแก๊สพิษได้ และใช้เป็นสารฟอกสี

5. ต้นมะพร้าว ทำสะพาน ทำเสาเรือน ต้นมะพร้าวที่แก่จัดทำไม้กระดาน เครื่องเรือน ขุดทำเรือ ทำโต๊ะ เก้าอี้ และเชื้อเพลิง

6. ยอดมะพร้าว ใช้เป็นอาหาร ต้ม แกง ยำ

2.2 แหล่งเส้นใย

ตามนิยามแล้ว เส้นใยหมายถึงวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น ประเภทของเส้นใยเราสามารถแยกประเภทของเส้นใยได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง ในที่นี้เราแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติก็ยังแบ่งย่อยได้อีกเป็นเส้นใยที่มาจากพืช จากสัตว์ และจากแร่ ส่วนเส้นใยประดิษฐ์สามารถแยกเป็นเส้นใยที่ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยที่ประดิษฐ์จากวัสดุอื่นๆ [7]

2.2.1 ประเภทของเส้นใย

1. เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)
   - 1.1 เส้นใยพืช เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ รามี ป่าน นุ่น
   - 1.2 เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (wool) ไหม (silk) ผม (hair)
   - 1.3 เส้นใยจากแร่ เช่น แร่ใยหิน (asbestos)
2. เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fibers)
   - 2.1 ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน อะซิเทต ไตรอะซีเทต
   - 2.2 เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอเลฟินส์ โพลีเอสเทอร์ โพลีอรามิด ไนลอน
   - 2.3 แร่และเหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์

2.2.2 คุณสมบัติเส้นใยของเยื่อกระดาษ

เส้นใยที่ได้อาจมาจากพืชชนิดต่างๆซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะที่มีการระบุลักษณะโดยกล้องจุลทรรศน์ คุณสมบัติเหล่านี้โดยเฉพาะลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเส้นใย โดยมีความยาวเส้นใย ความกว้างเส้นใย ความหนาของเส้นใย และลักษณะรูปร่างของผนังเซลล์ของเส้นใย

1. ขนาดของเส้นใย (Fiber Dimensions) เยื่อกระดาษหรือวัตถุดิบในการผลิตกระดาษมีความหลากหลายประเภทของเส้นใย โดยปกติความยาวของเส้นใยไม้เนื้ออ่อนมีขนาด 100 เท่าของความกว้างของเส้นใย ขนาดของเส้นใยขึ้นอยู่กับหลักในแหล่งของใยอาหาร ชนิดของเส้นใยและจะแตกต่างกันตามสภาพการปลูกและอายุ

2. ความยาวของเส้นใย (Fiber length of pulp) ความยาวเส้นใยเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของเยื่อกระดาษ และเป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญที่สุดของการผลิตเยื่อกระดาษ ความยาวของเส้นใยมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของเยื่อและกระดาษ คือความต้านทานแรงดันทะลุ ความต้านทานการพับ ความต้านทานแรงดึงขาด และความต้านทานแรงฉีกขาด เส้นใยยาวเมื่อผสมผสานกับเส้นใยสั้นจะเพิ่มประสิทธิภาพความแข็งแรงและความสม่ำเสมอของกระดาษ [8]

ตารางที่ 2.1 ความยาวเส้นของเส้นใยที่มีผลต่อคุณสมบัติของกระดาษ

คุณสมบัติ	เส้นใยยาว	เส้นใยสั้น
ความต้านทานแรงดันทะลุ	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความทนต่อการพับ	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
คุณภาพการพิมพ์	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความเรียบผิวกระดาษ	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความต้านทานแรงฉีกขาด	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความต้านทานแรงดึงขาด	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความฟ่าม	เพิ่มขึ้น	ลดลง
ความพรุน	เพิ่มขึ้น	ลดลง

ที่มา : http://www.paperonweb.com/pulppro.htm, [9]

3. ความหยาบของเส้นใย (Coarseness of pulp fibers) ความหยาบของเส้นใยเป็นตัวแปรที่สำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติหลายอย่างของกระดาษ มีผลต่อความสม่ำเสมอของเยื่อกระดาษและการกระจายตัวของเส้นใย เส้นใยที่มีความหยาบมากทำให้เนื้อกระดาษมีความพรุนมากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อ

ความแข็งแรงทางเชิงกลของกระดาษ ความหยาบของเส้นใยยังส่งผลต่อมวลของเยื่อกระดาษซึ่งมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในการสร้างแผ่นกระดาษและมีผลในด้านการกระจายแสงของกระดาษ การวัดความหยาบของเส้นใยนั้นเป็นการวัดความหยาบถูกกำหนดให้เป็นน้ำหนักต่อหน่วยความยาวของพื้นที่ตัดขวางของเส้นใย แสดงเป็นไมโครกรัมต่อเมตร หรือเรียกว่า decigrex ย่อเป็น "DG." ค่าความหยาบของเส้นใยจะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญซึ่งมีผลต่อกระบวนการตีเยื่อและการฟอกเยื่อ

4. การให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ (Freeness of pulp) การระบายน้ำคือความสะดวกในการเอาน้ำออกจากเส้นใยเยื่อกระดาษ โดยวิธีแรงโน้มถ่วงหรือวิธีกล เรียกว่า Canadian Standard freeness (CSF) เป็นตัวชี้วัดของการระบายน้ำของเยื่อ จะเกี่ยวข้องกับสภาพพื้นผิวของเส้นใยและอาการบวมของเส้นใย

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเส้นใยของเยื่อกระดาษ

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติเส้นใยของเยื่อนั้นคือการฟอกเยื่อ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติต่างๆของเส้นใย ทำให้ผนังเซลล์มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น ในขณะเดียวกันก็ทำให้ปริมาณและความยาวเส้นใยลดลงด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการฟอก การฟอกทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีผิวสัมผัสที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มพันธะของเส้นใย การฟอกเยื่อนั้นมีตัวแปรดังนี้

1. ปริมาณลิกนิน (Lignin) เยื่อที่มีปริมาณลิกนินต่ำและมีเฮมิเซลลูโลสที่สูงค่อนข้างง่ายต่อการปรับแต่งในแง่ของการปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของเยื่อ และง่ายต่อการฟอกให้เยื่อมีความขาวสว่าง

2. ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) การฟอกที่มีค่า pH ที่สูงนั้น จะช่วยเพิ่มความชุ่มชื้นในตัวเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีการพองตัวช่วยทำให้เพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยและความหนาแน่น (Density) ของแผ่นกระดาษ และยังช่วยให้ค่าการให้น้ำไหลผ่านของเยื่อ (Freeness) น้อยลง ส่วนการฟอกเยื่อที่มีค่า pH ต่ำนั้นส่งผลทำให้ความหนาแน่นของแผ่นกระดาษลดลง และขึ้นแผ่นกระดาษได้ยาก

2.3 แหล่งเส้นใยในการผลิตเยื่อกระดาษ

ไม้จัดเป็นวัตถุดิบในการทำเยื่อกระดาษ (Wood Pulp) ไม้ทุกชนิดสามารถนำมาทำเยื่อกระดาษได้ สามารถจำแนกไม้ได้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ [10]

1. ไม้ยืนต้น (Wood) ไม้ยืนต้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1.1 ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) เป็นไม้จำพวก Coniferos หรือ Gymnosperm มีใบเป็นรูปเข็ม ไม้ผลัดใบ เช่น สปรู๊ซ, สน และ เฟอร์ ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบและสนสามใบ เส้นใยของไม้เนื้ออ่อนมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนเรียกว่าเยื่อ

ใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร “N” (Needle) นำหน้า เช่น NBPK (Needle Bleached Kraft Pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเส้นใยยาว

1.2 ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้จำพวก Angiosper โดยทั่วไปมีใบกว้าง (Broad Leaved) ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเลและสนประดิพัทธ์ในเขตอบอุ่น

องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระดาษสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย และส่วนที่ไม่ใช้เส้นใย องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย มี 3 ส่วนใหญ่ คือ

1. เซลลูโลส เป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภท พอลิแซ็กคาไรด์ น้ำโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของ B-D-glucopyanose ต่อกันเป็นพอลิเมอร์ มีสมบัติไม่ละลายในน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไป และสารละลายด่าง สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) กับกรดได้ และที่สำคัญคือโครงสร้างเป็นได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (Crystalline) และไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างๆ กัน ซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติในด้านการดูดซึม (Absorption) ยืดหยุ่น (Stress-strain) และการพองตัว (Swelling) เป็นต้น

2. เฮมิเซลลูโลส เป็นสารคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลส แต่มีโครงสร้างส่วนใหญ่ไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงดูดซึมน้ำได้ดี ซึ่งมีผลช่วยทำให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็วง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวเพิ่มขึ้นอีกด้วยนอกจากนั้นยังสามารถทำปฏิกิริยาได้สารละลายด่าง

3. ลิกนิน เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักพบอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสาร อะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (Lignase) หรือลิกนินเนส (Ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรากไม้แต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างเซลลูโลส

2. วัตถุดิบที่ไม่ใช่ไม้ (Non-Wood) สำหรับประเทศไทยมีการนำวัสดุที่ไม่ใช่ไม้มาผลิตเป็นกระดาษอยู่ 5 อย่าง คือ

2.1 ชานอ้อย (Bagasse)

2.2 ฟางข้าว (Rice Straw)

2.3 ปอแก ว (Kenaf)

2.4 ไม ไผ (Bamboo)

2.5 ปอสา (Mulberry)

2.3.1 องค์ประกอบของกระดาษ

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลาย ๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ไม่ใช้เป็นสวนผสมเหล่านี้ ได้แก่เส้นใยสั้น เส้นใยยาว และสารเคมี วัสดุที่ใช้ผสมเหล่านี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ ได้แก่ ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous material) ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษ และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งานในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษประมาณส่วนเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต ส่วนเส้นใยนี้จะได้จากพืชชนิดต่าง ๆ เช่น ไม้เนื้ออ่อน ไม้เนื้อแข็ง และพืชล้มลุก ส่วนเส้นใยหรือที่เรียกทั่วไปว่า เยื่อ เยื่อที่ใช้ทำกระดาษส่วนมากจะเป็นเยื่อผสมของเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้น เยื่อใยยาวได้จากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) ซึ่งเป็นไม้ที่ขึ้นบริเวณที่สูง อากาศเย็น โตช้า ใบ มีลักษณะแคบเรียวยาว (Needle) เส้นใยมีลักษณะหยาบ มีความแข็งแรงสูง มีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมครอน ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ สน (Pine) และ สปรู๊ซ (Spruce) เป็นต้น เยื่อใยสั้นได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) โตเร็ว ใบมีลักษณะกว้าง (Leaf) เส้นใยมีลักษณะเล็ก ละเอียด ความแข็งแรงต่ำ มีความยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน ไม้ในกลุ่มนี้ได้แก่ ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) กระถินเทพา (Acacia) เบิร์ช (Birch)และ แอสเพน (Aspen) เป็นต้น [11]

2.3.2 สารเคมีสำหรับปรับปรุงสมบัติของกระดาษ

1. ตัวเติม (Filler) สารเติมแต่งชนิดนี้จะเป็นผงแร่สีขาว ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านทัศนะศาสตร์และปรับปรุงสมบัติด้านการพิมพ์ของกระดาษ นอกจากนี้ยังใส่ลงไปเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตกระดาษอีกด้วย เพราะตัวเติมส่วนมากจะมีราคาถูกเมื่อเทียบกับเส้นใย ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมลงในกระดาษจะต้องมีขนาดเล็กละเอียด ตัวเติมที่ดีควรมีขนาดประมาณ 1-10 ไมครอน ผงแร่ที่มีขนาดเล็กนี้เมื่อเติมลงไปจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวภายในกระดาษโดยเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างผงแร่กับอากาศและผงแร่กับเส้นใย ทำให้เพิ่มค่าการกระเจิงแสง (Light scattering) ของกระดาษ ทำให้กระดาษมีค่าความขาวสว่างเพิ่มขึ้นและเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยมาก เมื่อใส่ลงไปจะทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น ผงแร่ที่ใช้เป็นตัวเติมในกระดาษได้แก่ ดินขาว (Kaolin clay) ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide, TiO_2) และแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate, $CaCO_3$) ผงแร่เมื่อใส่ลงไปจะช่วยปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของกระดาษให้ดีขึ้นดังนี้คือ ทำให้ผิวกระดาษเรียบขึ้น เพิ่มความขาวสว่างและความทึบแสงของกระดาษ ทำให้กระดาษมีการดูดซับหมึกได้ดีขึ้น และ ลดต้นทุนการผลิตกระดาษ แต่การเติมผงแร่ลงไปก็มีส่วนลดสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลงด้วย ผงแร่แต่ละชนิดมีลักษณะรูปร่าง ขนาด และดัชนีการหักเหของแสงต่างกัน

2. สารต้านการซึมน้ำ (Sizing-agent) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านการต้านทานการซึมน้ำของกระดาษ ทำให้กระดาษต้านทานการเปียกน้ำได้ดีขึ้น เนื่องจากกระดาษทำจากเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูง กระดาษที่ไม่ได้ใส่สารต้านการซึมน้ำจึงเปียกน้ำและดูดซับน้ำได้ง่าย เช่น กระดาษชำระและกระดาษซับ (blotting paper) การเติมสารต้านการซึมน้ำลงไปจะช่วยลดพื้นที่ผิวของการดึงดูดระหว่างเส้นใยและโมเลกุลของน้ำ ทำให้ลดอัตราการซึมน้ำเข้าสู่เนื้อกระดาษ เมื่อกระดาษโดนน้ำจะไม่เปียกหรือซับน้ำในทันทีทันใด การเติมสารต้านการซึมน้ำแบ่งเป็น 3 ระดับ มีชื่อเรียกกระดาษที่เติมสารต้านการซึมน้ำแต่ละระดับดังนี้

2.1 กระดาษที่ไม่ใส่สารต้านการซึมน้ำเลย (Water-leaf) เช่น กระดาษชำระ

2.2 กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำเล็กน้อย มีระดับการซึมน้ำปานกลาง (Slack -sized) เช่น กระดาษพิมพ์และเขียน

2.3 กระดาษที่ใส่สารต้านการซึมน้ำในปริมาณสูงมาก มีระดับต้านการซึมน้ำสูง (Hardsized) กระดาษทำถ้วย กระดาษทำกล่องนม

สารต้านการซึมน้ำที่ใช้ในการทำกระดาษ ได้แก่ สารส้มและชันสน (Alum/rosin size) ไขผึ้ง (Wax) ยางมะตอย (Asphalt) อัลคิลคีทีนไดเมอร์ (Alkyl ketene dimmer, AKD)

3. สารเพิ่มความเหนียว สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่เติมลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ โดยเฉพาะความต้านแรงดึง และความต้านแรงดันทะลุ นอกจากนี้ยังช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมาก เพราะถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นต่ำจะทำให้เกิดการแยกชั้นของกระดาษแข็งในระหว่างการพิมพ์ได้ สารเพิ่มความเหนียวที่ใช้ ได้แก่ แป้งธรรมชาติ (Native starch) แป้งปรุงแต่ง (Modified - starch) ปรับให้เป็นประจุบวก กัม และพอลิอะคริลเอไมด์ (Polyacrylamide) แป้งเป็นสารเพิ่มความเหนียวที่รู้จักกันดีและมีใช้มานานแล้ว แต่ในปัจจุบันนิยมใช้แป้งประจุบวกและพอลิอะคริลเอไมด์มากกว่า เนื่องจากสารเหล่านี้มีประจุบวก จึงสามารถจับกันได้ดีกับเส้นใยซึ่งมีประจุลบทำให้เพิ่มพันธะระหว่างเส้นใยในกระดาษส่งผลให้กระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

4. สารฟอกนวล (Optical brightening agent: OBA) หรือสารเพิ่มความขาวสว่าง สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารสีย้อมประเภทเรืองแสง (fluorescent dye) เมื่อเติมลงไปจะช่วยให้กระดาษมีความขาวสว่าง (brightness) เพิ่มมากขึ้นโดยปกติจะเติมที่ machine chest หรือหน้า fan pump

5. สารสีย้อม (Dyes) สารเติมแต่งชนิดนี้เป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการทำกระดาษ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาโทนสีของกระดาษให้คงที่และชดเชยกับสีของลิกนินซึ่งมีสีเหลือง โดยปกติถ้ากระดาษสัมผัสกับความร้อนหรือแสงอาทิตย์ ลิกนินที่หลงเหลืออยู่ในเนื้อกระดาษจะส่งสีของตัวเองออกมา ทำให้กระดาษมีสีเหลือง สารสีย้อมยังใช้แต่งสีกระดาษขาวให้ได้ระดับคล้ำสีที่ต้องการ หรือเพื่อให้ดูขาวขึ้น ซึ่งเรียกว่าสีแต่ง (Tinting dye) โดยใช้สีแต่งในปริมาณน้อย ๆ เติมในส่วนผสมของน้ำเยื่อ สีที่ใช้แต่งนี้อาจเป็นสีอะไรก็ได้ แต่ในกระดาษขาวจะใช้สีม่วงหรือสีน้ำเงิน

6. สารควบคุมจุลชีวะ (Microbiological control agent หรือ Biocide) เป็นสารที่ช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของจุลชีวะจำพวกเชื้อราหรือแบคทีเรียในระบบ เพื่อป้องกันการเกิดเมือกจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้กระดาษสกปรก และทำให้กระดาษขาดในระหว่างการผลิตได้ง่าย

7. สารเพิ่มการตกค้าง (Retention aid) เป็นสารเคมีที่เพื่อช่วยให้เยื่อและตัวเติม (Filler) จับตัวกันและคงอยู่ในเนื้อกระดาษให้มากที่สุดในช่วงการระบายน้ำบนตะแกรงลวดเดินแผ่น ซึ่งสารเคมีประเภทนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาวช่วยยึดเหนี่ยวทั้งเยื่อและอนุภาคเล็ก ๆ ของตัวเติม (Filler) เข้าด้วยกัน

2.4 กระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษ

การทำกระดาษเริ่มตั้งแต่การนำไม้ไปทำเยื่อเพื่อให้ได้เส้นใยออกมา แล้วจึงนำเยื่อที่ได้ไปผสมกับสารเติมแต่งในอัตราส่วนต่างๆเพื่อปรับสมบัติกระดาษให้ได้ตรงความต้องการใช้งาน จากนั้นนำไปทำเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องจักรผลิตกระดาษ แล้วจึงนำไปแปรรูปใช้งาน กระบวนการผลิตจะแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนโดยเรียงลำดับตาม ขั้นตอนการปฏิบัติการจริงภายในโรงงานได้ดังนี้ [12]

2.4.1 การผลิตเยื่อ (Pulping)

2.4.2 การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

2.4.3 การทำแผ่นกระดาษ (Papermaking)

2.4.4 การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น (Web modification)

2.4.5 การแปรรูป (Converting)

2.4.1 การผลิตเยื่อ (Pulping)

วัตถุประสงค์หลักของการผลิตเยื่อ เพื่อต้องการแยกเส้นใยออกมาจากองค์ประกอบอื่นของไม้ การผลิตเยื่อสามารถทำได้หลายวิธีทั้งโดยวิธีเคมีหรือเชิงกล ในบางกรณีอาจจะต้องนำไปผ่านการฟอกให้ขาวก่อน ในการผลิตเยื่อจึงประกอบด้วย กรรมวิธีผลิตเยื่อและการฟอกเยื่อ กรรมวิธีผลิตเยื่อ (Pulping process) เยื่อมีหลายชนิด การเรียกชื่อขึ้นอยู่กับกรรมวิธีผลิต ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบต่างๆ ของพลังงานที่ใช้ ได้แก่ พลังงานความร้อน พลังงานเคมี และพลังงานกล

การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process) จะใช้พลังงานกลควบคู่ไปกับพลังงานความร้อนในการแยกเส้นใยออกมา โดยท่อนไม้/ชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าเครื่องบด ซึ่งจะทำหน้าที่บดและตัด จนชิ้นไม้แหลกละเอียดเป็นเยื่อไม้ เยื่อที่ได้เรียกว่าเยื่อไม้บดหรือเยื่อเชิงกล ให้ผลผลิตเยื่อในช่วงมากกว่าร้อยละ 85 เยื่อไม้บดมีเนื้อค่อนข้างหยาบกระด้าง เส้นใยที่ได้ส่วนใหญ่ไม่สมบูรณ์ มีการขาดและตัดเป็นท่อนๆ นอกจากนี้ยังมีกลุ่มของเส้นใยปนอยู่ด้วย ในเยื่อไม้บดจึงประกอบด้วย

1. เส้นใยฝอย (Fines) ซึ่งเกิดจากฉีกขาดของเส้นใย

2. เส้นใยเดี่ยว (Individual fiber) ไม่ค่อยสมบูรณ์

3. มัดของเส้นใย (Bundle of fiber) ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยหลายๆ เส้นเกาะติดกันเป็นมัดเยื่อชนิดนี้ เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษ จะให้คุณสมบัติตามส่วนประกอบทั้ง 3 คือ เส้นใยฝอยจะเพิ่มคุณสมบัติด้านทึบแสง เส้นใยซึ่งไม่ค่อยสมบูรณ์และยังคงมีลิกนินตกค้างอยู่มาก ทำให้พันธะระหว่างเส้นใยต่ำ การกลับสีเร็ว เยื่อชนิดนี้จึงไม่เหมาะที่จะนำไปทำกระดาษที่ต้องรับแรงสูงหรือเก็บนานๆ มีราคาถูก เหมาะสำหรับทำสิ่งพิมพ์ราคาถูก เช่น หนังสือพิมพ์ หรือใช้เป็นเยื่อชั้นใน

การผลิตเยื่อเคมี (Chemical pulping process) การผลิตเยื่อตามกรรมวิธีนี้จะใช้พลังงานเคมีและพลังงานความร้อนในการทำให้เส้นใยแยกจากกัน โดยชิ้นไม้จะถูกส่งเข้าหม้อต้มเยื่อ(Digester) สารเคมีและความร้อนจะละลายลิกนินออกไป เหลือส่วนที่ไม่ละลายคือเยื่อ เยื่อเคมีมีหลายชนิดเรียกชื่อตามสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเช่น เยื่อซัลเฟต เยื่อซัลไฟต์ และเยื่อโซดา เยื่อเคมีให้ผลผลิตเยื่อประมาณร้อยละ 40 มีลักษณะนุ่ม สีค่อนข้างคล้ำ เส้นใยที่ได้จะสมบูรณ์เยื่อชนิดนี้มีปริมาณการใช้สูงมาก เพราะสามารถพัฒนาศักยภาพของเส้นใยให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เหมาะทั้งใช้ในงานรับแรงและเพื่อการสื่อสาร ถ้าใช้ในงานรับแรง เช่น นำไปทำกระดาษบรรจุภัณฑ์ไม่จำเป็นต้องฟอก แต่ถ้าใช้เพื่อการสื่อสารจะต้องนำไปฟอกให้ขาวก่อน

เยื่อและเศษกระดาษ (Secondary pulp) ในปัจจุบันเศษกระดาษ (Reclaimed and waste paper) นับได้ว่าเป็นแหล่งเส้นใยที่สำคัญแหล่งหนึ่งได้มีการนำเส้นใยกระดาษที่ใช้แล้วทั้งภายในและภายนอกประเทศมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ เยื่อที่ได้จากเศษกระดาษที่ใช้แล้วเรียกว่า Secondary pulp ส่วนเยื่อที่ยังไม่เคยใช้ทำกระดาษเรียกว่าเยื่อบริสุทธิ์ (Virgin pulp) เส้นใยที่ได้จากเศษกระดาษชนิดนี้ เรียกว่า Recycled fiber เนื่องจากกระดาษที่ผ่านการใช้แล้วมีมากมายหลายประเภท เช่น ถ้าเป็นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์ต่างๆ ก่อนนำมาทำเป็นเยื่อต้องผ่านกระบวนการเอาหมึกออก (Deinking) เสียก่อนแล้วจึงนำไปฟอก (Bleaching) ให้ขาว สำหรับนำไปผลิตกระดาษสำหรับพิมพ์หรือกระดาษชำระ แต่ถ้าจะนำไปผลิตกระดาษเหนียวหรือกระดาษสีน้ำตาลก็ไม่จำเป็นต้องเอาหมึกออก เยื่อจากกระดาษหรือเศษกระดาษที่ได้ส่วนมากจะนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษพิมพ์เขียน ทำเป็นเยื่อชั้นในเป็นต้น

2.4.2 การฟอกเยื่อ (Bleaching)

การฟอกเยื่อเป็นขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพเยื่อในด้านความขาว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นในการผลิตกระดาษบางชนิด เช่นกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษทิชชู กระดาษสา เป็นต้น กระบวนการฟอกเยื่อยังแบ่งเป็นแบบขั้นตอนเดียวและหลายขั้นตอน ทั้งนี้ขึ้นกับความขาวของเยื่อที่ต้องการ เช่น กระดาษพิมพ์เขียนและกระดาษทิชชูต้องการความขาวของเยื่อมากจะใช้วิธีการฟอกหลายขั้นตอน

ส่วนกระดาษสาความขาวของเยื่อที่ต้องการเพื่อให้ย้อมสีได้เท่านั้น จึงใช้การฟอกแบบขั้นตอนเดียว สารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อ มีหลายชนิด ได้แก่ ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน โซเดียมไฮดรอกไซด์ คลอรีนไดออกไซด์ ออกซิเจน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น เยื่อที่ได้จากกระบวนการเคมีจะมีปริมาณของลิกนินอยู่น้อย เพราะลิกนินส่วนหนึ่ง นั้นได้ถูกกำจัดออกไปในระหว่างกระบวนการแล้ว เมื่อนำมาฟอกอีกครั้งหนึ่งจะได้เยื่อที่มีความขาว เหมาะสำหรับการผลิตเป็นกระดาษที่มีคุณภาพสูง จำนวนขั้นตอนการฟอกเยื่อเคมีนั้นจะอยู่ในช่วง 3 - 6 ขั้นตอน ขึ้นกับคุณภาพและความขาวของเยื่อที่ต้องการ โรงงานแต่ละแห่งอาจมีขั้นตอนการฟอกเยื่อที่เหมือนหรือ ต่างกันก็ได้ ขึ้นกับข้อกำหนดด้านสิ่งแวดล้อม ชนิดของเยื่อ ความขาวที่ต้องการ และด้านปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงงาน [13]

ในการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้ต้นยูคาลิปตัสนั้น เมื่อเยื่อผ่านขั้นตอนการล้างแล้วจะนำเข้าสู่ขั้นตอนของการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน ซึ่งจะเป็นการฟอกเยื่อขั้นตอนแรกโดยใช้ ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนินให้ลิกนิน หลุดออกจากเยื่อมากขึ้น เป็นผลให้ค่า Kappa Number ลดลงจาก ประมาณ 25 - 28 เป็น 10 -12 ซึ่งหมายถึง ปริมาณลิกนินจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณตั้งต้น เป็นผลทำให้การใช้สารเคมีในขั้นตอนการฟอกลดน้อยลง รวมทั้งลดปริมาณน้ำเสียจากการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีลงด้วยเช่นกัน การสกัดลิกนินด้วยออกซิเจนจะต้องใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในปฏิกิริยาจับลิกนินนี้ ประมาณ 20 กิโลกรัมออกซิเจนต่อตันเยื่อที่ผลิต (หรือประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักเยื่อแห้ง) การฟอกจะเกิดจากการที่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนไปสกัดลิกนินในเยื่อโดยมีไอน้ำ เพื่อรักษา อุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาที่ระหว่าง 90 - 110 °C ระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนนี้ประมาณ 20 - 60 นาที เยื่อที่ผ่านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วจะส่งเข้าล้างในเครื่องล้างแบบ Wash press โดยปกติแล้วภายหลังจากการสกัดลิกนินด้วยออกซิเจนแล้วจะทำการล้าง 1 ครั้งหรือ 2 ครั้ง แล้วส่งไปเก็บในถังเก็บเยื่อความเข้มข้นปานกลางถึงสูงก่อนส่งเข้าหน่วยฟอกขาวสำหรับการผลิตเยื่อฟอก

ตารางที่ 2.2 สารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก

สารเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก
chlorine	C	ขั้นคลอริเนชั่น (chlorination stage)
sodium hydroxide	E	ขั้นแอ็กซ์แทรกชัน (extraction stage)
calcium hypochlorite	H	ขั้นไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite stage)
chlorine dioxide	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (chlorinedioxide stage)
hydrogen peroxide	P	ขั้นเปอร์ออกไซด์ (peroxide stage)
oxygen	O	ขั้นออกซิเจน (oxygen stage)
ozone	Z	ขั้นโอโซน (ozone stage)
acid	A	ขั้นแอสิด (acid stage)

ที่มา : โครงการฉลากเขียว, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2554,

ตารางที่ 2.3 สภาวะของการฟอกเยื่อเคมีที่ขั้นตอนต่างๆ

Condition	**D**	**E**	**O**	**H**	**Z**	**P**
Chemical Addition (On Pulp)	0.4 – 0.8 %	2 – 3 %	2 – 3 % 60-120 psi Mg2+	2% (as Cl2)	10 – 14 %	1 – 2 % Na2O2; Mg2+; Silicate
Pulp Consistency	Medium	Medium	Medium or High	Medium	Medium or High	Medium
pH	3.5 - 6	11 – 12	10 - 12	8 - 10	2 - 3	8 - 10
Temperature (° C)	60 - 80	50 - 95	90 - 110	35 - 50	30 - 50	60 – 70
Time (hours)	3 - 5	0.75 – 1.5	0.3 – 1.0	1 - 5	1 – 2 minutes	2 – 4

ที่มา : คู่มือฝึกอบรมผู้เชี่ยวชาญการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมกระเยื่อและกระดาษ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550, [13]

ตารางที่ 2.4 สภาวะของการฟอกเยื่อเคมีของขั้นตอนคลอรีนไดออกไซด์

Pulp	Sequence	kappa no.	Kappa factor	Chemical charges [kg odt^{-1}]				
				D_0 ClO_2	E NaOH	EO(P) H_2O_2	D_1+D_2 ClO_2	E_2 NaOH
SW-Kraft	D(EO)DED	29.5	0.28	31.4	24.0	0.0	12.0	5.0
HW-Kraft	D(EO)DED	16.5	0.22	13.8	16.7	0.0	11.0	5.0
HW-Kraft	D(EOP)DED	16.5	0.22	13.8	16.7	3.0	9.0	5.0
HW-Kraft	D(EO)DED	16.5	0.26	16.3	17.2	0.0	9.0	5.0
HW-Kraft	D(EOP)DED	16.5	0.26	16.3	17.2	3.0	8.0	5.0

ที่มา : Handbook of Pulp Vol. 2, Herbert Sixta, 2006

2.4.3 การเตรียมน้ำเยื่อ (Stock preparation)

ในขั้นการเตรียมน้ำเยื่อนี้มีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ เพื่อพัฒนาศักยภาพของเส้นใย โดยการนำเยื่อไปบด และปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยการผสมหรือใส่สารเติมแต่งชนิดต่างๆ ตามอัตราส่วนที่กำหนด ส่วนผสมที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำเยื่อ” หรือ “สต็อก” (Stock) เยื่อที่นำมาทำกระดาษทุกชนิดจะต้องผ่านการบด มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับคุณภาพของเยื่อบางชนิดไม่จำเป็นต้องบด เช่น เยื่อไม้บดและเยื่อเวียนทำใหม่ ในขั้นการเตรียมน้ำเยื่อประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการบดและผสมโดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการเรียงลำดับดังนี้

1. การกระจายเส้นใย (Defibering) กระจายเยื่อเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ โดยใช้อุกรณ์ที่เรียกว่า ไฮดราพัลเพอร์ (Hydrapulper)

2. การบดเยื่อ (Refining) บดเยื่อ เพื่อให้เส้นใยแตกแขนงเป็นการเพิ่มศักยภาพของพันธะระหว่างเส้นใยให้สูงขึ้น อุปกรณ์ที่ใช้คือรีไฟเนอร์ (Refiner)

3. การผสมน้ำเยื่อ (Blending) เป็นการเติมสารเติมแต่งลงไปผสมกับเยอื่ ที่ผ่านการบดแล้วโดยผสมในถังใบพัดกวน เยื่อจะถูกเก็บในถังที่เรียกว่า แมชีนเชสต์ (Machine chest)

4. การแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำ เยื่อ (Screening and cleaning) โดยใช้ เพลชเชอร์สกรีน (Pressure screen) หรือแฟลตสกรีน (Flat screener) เพื่อคัดวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยออกแล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความสะอาด เรียกว่า เซนตริฟิวต์คลีนเนอร์ (Centrifugal cleaner) คัดแยกวัสดุอื่นออกไปโดยใช้หลักการถ่วงจำเพาะ

5. การควบคุมความข้นของน้ำเยื่อ (Consistency regulator) เพื่อควบคุมให้น้ำเยื่อข้นคงที่

2.4.4 การทำแผ่นกระดาษ (Papermaking)

หลังจากผสมน้ำเยื่อเรียบร้อยแล้ว น้ำเยื่อจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องจักรผลิตกระดาษ เพื่อทำให้เป็นแผ่นกระดาษที่ยาวต่อเนื่องเรียงว่า กระดาษม้วน โดยทั่วไปเครื่องจักรผลิตกระดาษจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ถังจ่ายเยื่อ (Headbox) เป็นอุปกรณ์ชิ้นแรกของเครื่องจักรผลิตกระดาษ ทำหน้าที่จ่ายน้ำเยื่อเข้าสู่ตะแกรงลวดเดินแผ่น ทำลายกลุ่มเส้นใย (Flocculated fiber) ในน้ำเยื่อ และปล่อยน้ำเยื่อลงบนตะแกรงลวดเดินแผ่นอย่างสม่ำเสมอตลอดความกว้างของเครื่องจักร เฮดบ๊อกซ์ที่ใช้กันทั่วไปมีอยู่ 2 ชนิดคือชนิดเบาะอากาศ (Air cushion headbox) และชนิดไฮดรอลิก (Hydralic headbox) นอกจากนี้ยังมีเฮดบ๊อกซ์แบบเก่า เช่น แบบเปิด (Opened headbox) ซึ่งใช้กับเครื่องจักรความเร็วต่ำประมาณ 30-250 เมตร/นาที ซึ่งมีใช้น้อยมากในปัจจุบัน

1. ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น (Wire section หรือ Forming section) ทำหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ การก่อตัวเป็นแผ่นกระดาษด้วยกระบวนการกรองและการแยกน้ำออก (dewatering) แผ่นเปียกที่ออกจากส่วนนี้จะมีน้ำอยู่ถึงร้อยละ 80 ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นนี้เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากต่อความสม่ำเสมอของเส้นใยในเนื้อกระดาษ ลำน้ำเยื่อจากเฮดบ๊อกซ์จะตกหกระทบตะแกรงลวดเดินแผ่นที่ฟอร์มมิ่งบอร์ดความเร็วของลำน้ำเยื่อจะสูงหรือต่ำกว่าความเร็วของตะแกรงลวดเดินแผ่นเล็กน้อยเพื่อให้ได้ความแข็งแรงและความสม่ำเสมอของเส้นใยในเนื้อกระดาษ ลำน้ำเยื่อจากเฮดบ๊อกซ์จะตกกระทบตะแกรงลวดเดินแผ่นที่ฟอร์มมิ่งบอร์ด ความเร็วของลำน้ำเยื่อจะสูงหรือต่ำกว่าความเร็วของตะแกรงลวดเดินแผ่นเล็กน้อยเพื่อให้ได้ความแข็งแรงและความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษดี ความแตกต่างของความเร็วลำน้ำเยื่อและตะแกรงลวดเดินแผ่นร่วมกับตำแหน่งที่น้ำเยื่อตกบนฟอร์มมิ่งบอร์ด เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของกระดาษอย่างมาก (บางครั้งเรียก อัตราส่วนของความเร็วน้ำเยื่อหารด้วยความเร็วของตะแกรงลวดเดินแผ่นว่า (Efflux ratio) เมื่อน้ำเยื่อผ่านมาบนตะแกรง น้ำบางส่วนของน้ำเยื่อรวมทั้งเส้นใยและสารเติมแต่งที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดของช่องตะแกรงจะไหลผ่านตะแกรงออกไปโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกและแรงดูดจากอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ ที่ติดตั้งอยู่ใต้ตะแกรง น้ำที่หายไปมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสอยู่ใกล้ชิดกันและเกี่ยวประสานกันได้มากขึ้น จนเกิดลักษณะเป็นแผ่นกระดาษ แผ่นกระดาษที่ได้มีผิวหน้าสองด้านที่มีสมบัติหลายประการแตกต่างกัน ทั้งนี้การเรียกด้านของกระดาษใช้การสัมผัสและไม่สัมผัสตะแกรงเป็นเกณฑ์ โดยด้านของแผ่นกระดาษที่สัมผัสตะแกรงเรียกว่า “ด้านตะแกรง” (Wire side) ส่วนด้านของแผ่นกระดาษที่อยู่ตรงข้ามด้านตะแกรงเรียกว่า “ด้านสักหลาด” (Felt side) ซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับผืนสักหลาดที่ทำหน้าที่ในการส่งผ่านสายของแผ่นกระดาษ (Paper wed) บนเครื่องผลิตกระดาษ ปริมาณน้ำที่อยู่ในแผ่นกระดาษหลังการแยกน้ำออกแล้วมีอยู่ในแผ่นกระดาษหลักการแยกน้ำออกแล้วมีอยู่ประมาณ 80-85 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. ส่วนกดรีดน้ำ (Pressing section) สายของแผ่นกระดาษที่เกิดขึ้นหลังจากการแยกน้ำแล้วจะเคลื่อนที่เข้าไประหว่างลูกกลิ้งกดรีดน้ำ (Press rolls) ในขั้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อขจัดน้ำออกจาก

แผ่นกระดาษให้ได้มากที่สุดก่อนที่จะส่งต่อไปยังหน่วยทำแห้ง ปริมาณน้ำที่ยังมีอยู่ในแผ่นกระดาษเปียกหลังผ่านการกดรีดน้ำแล้วเหลืออยู่ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในส่วนกดรีดน้ำนี้ จะมีการจัดเรียงของชุดกดรีดน้ำหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ผลิต สำหรับกระดาษพิมพ์เขียนซึ่งต้องการให้ผิวสองด้านของกระดาษเรียบเท่า ๆ กัน ผิวทั้งสองด้านของกระดาษต้องถูกกดด้วยผิวลูกกดรีดน้ำที่เรียบโดยไม่มีผ้าสักหลาด แต่การกดรีดน้ำโดยไม่มีผ้าสักหลาดรองรับ จะทำให้น้ำระบายออกจากกระดาษได้ยาก การระบายน้ำไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงมักมีผ้าสักหลาดหนึ่งหรือสองผืนเสมอ ๆ ในบันดาลูกกดรีดน้ำทั้งหมด จะมีอยู่หนึ่งลูกที่เป็นแบบลูกกดรีดน้ำ สุญญากาศ หรือลูกกดรัดน้ำที่มีผิวเป็นหรือช่อง เพื่อให้น้ำระบายออกจากกระดาษได้มากขึ้น นอกจากการกดรีดน้ำออกแล้ว ลูกกลิ้งกดรีดน้ำยังมีหน้าที่คล้ายกับลูกกลิ้งแดนดี (Dandy roll) กล่าวคือ ช่วยกดอัดให้เส้นใยเซลลูโลสมาอยู่ใกล้กันและเกิดพันธะเคมีต่อกันได้มากยิ่งขึ้น ทำให้แผ่นกระดาษมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น รวมทั้งช่วยเพิ่มความเรียบให้กับผิวกระดาษด้วย

3. ส่วนอบแห้งกระดาษ (Drying section) การทำแห้งกระดาษทำโดยอาศัยความร้อนจากไอน้ำอิ่มตัวความดันต่ำที่ถูกจ่ายเข้าไปข้างในลูกอบแห้ง ทำให้ผิวลูกอบแห้งร้อนขึ้น แล้วกลั่นตัวเป็นคอนเดนเสท (Condensate) คอนเดนเสทจะฟอร์มตัวเป็นฟิล์มอยู่ที่ผิวด้านในของลูกอบแห้ง ฟิล์มนี้ต้องไม่หนาจนเกินไปเพราะจะทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำและผิวลูกอบไม่ดี การระบายคอนเดนเสทออกจากลูกอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการอบแห้งกระดาษและรวมถึงค่าใช้จ่ายด้วย ซึ่งความร้อนนี้จะทำให้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแผ่นกระดาษเหมือนอยู่ประมาณ 2-8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในหน่วยทำแห้งนี้อาจมีการเคลือบสารละลายของสารเพิ่มความแข็งแรงผิวให้แก่กระดาษ การเคลือบสารเพิ่มความแข็งแรงผิวบนกระดาษเกิดขึ้นเมื่อสายของแผ่นกระดาษเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในหน่วยเคลือบสารเพิ่มความแข็งแรงผิว ซึ่งอยู่ก่อนส่วนทำแห้งส่วนสุดท้ายของหน่วยทำแห้ง เมื่อสารเพิ่มความแข็งแรงผิวได้รับการเคลือบบนกระดาษแล้วสายของกระดาษก็จะเคลื่อนที่เข้าสู่ส่วนทำแห้งส่วนสุดท้าย เพื่อทำให้สารเพิ่มความแข็งแรงผิวบนกระดาษเกิดการแห้งตัวก่อนที่สายของแผ่นกระดาษจะเคลื่อนเข้าสู่ชั้นต่อไป

4. ส่วนฉาบผิวกระดาษ (Size-press section) เป็นการฉาบผิวกระดาษ (Surface sizing) กระดาษที่ผ่านส่วนอบแห้งชุดแรกจะถูกฉาบด้วยน้ำแป้งที่ต้มสุก โดยน้ำแป้งจะฉาบอยู่ที่ผิวกระดาษทั้ง 2 ข้างทำให้ผิวกระดาษแข็งแรงขึ้นและทำให้กระดาษมีความต้านทานน้ำเพิ่มขึ้นด้วยเพราะน้ำแป้งจะไปอุดรูที่ผิวกระดาษ ถัดจากเครื่องฉาบผิวจะเป็นส่วนให้ความร้อนแบบลมร้อน (Air foil) และส่วนอบแห้งชุดหลังเพื่อให้กระดาษแห้ง อาจมีการเติมสารเติมบางอย่างลงในน้ำแป้งด้วย เช่น สารฟอกนวล เป็นต้น

5. ส่วนรีดผิวกระดาษ (Calendering section) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ถัดจาก ส่วนอบแห้งชุดหลัง ประกอบด้วยลูกรีดทรงกระบอกซึ่งทำจากโลหะวางซ้อนกัน ผิวของลูกรีดจะแข็งและเรียบมาก กระดาษจะถูกดึงผ่านไประหว่างลูกรีด ทำให้กระดาษบางลง เรียบขึ้น และมีความหน้าสม่ำเสมอขึ้น

ด้วย ลูกรีดเรียบลูกล่างสุดเรียกว่า king roll จะมีขนาดใหญ่และมี crown เพื่อให้ความดันสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้างของกระดาษการรีดผิวกระดาษนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่สายของแผ่นกระดาษจะเข้าม้วน (Peeling) แล้วนำออกจากเครื่องผลิตกระดาษเพื่อนำไปตัดเป็นม้วนขนาดเล็กหรือเป็นแผ่นเพื่อจำหน่ายต่อไปกระดาษที่ผลิตเสร็จแล้วอาจมีการปรับปรุงคุณภาพของผิวกระดาษให้มีความเรียบเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการพิมพ์และมีความแข็งแรงขึ้น เช่น การเคลือบกระดาษโดยการนำกระดาษโดยการนำกระดาษที่ผลิตมาสำหรับเคลือบผิวโดยเฉพาะ ผ่านเข้าเครื่องผิวกระดาษ (Coater) และการขัดมันโดยการนำกระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวแล้วไปผ่านเครื่องขัดมัน (Supercalender) หลังจากนั้นจึงนำกระดาษมารอแบ่งและเปลี่ยนแกนเป็นแกนกระดาษต่อไป

2.4.5 การปรับปรุงสมบัติกระดาษขณะเดินแผ่น (Web modification)

การปรับปรุงสมบัติกระดาษในขณะเดินแผ่นทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การปรับปรุงผิวกระดาษ (Surface modification) กระดาษเมื่อผ่านลูกอบแห้งแล้วจะเข้าสู่ส่วนรีดกระดาษ เพื่อปรับปรุงกระดาษให้เรียบขึ้นและเพิ่มความหนาแน่นของเนื้อกระดาษ ส่งผลให้กระดาษบางลงนอกจากปรับปรุงผิวกระดาษ ที่ส่วนนี้ยังสามารถทำการปรับปรุงผิวกระดาษ ในขณะที่เดินแผ่นด้วยวิธีการฉาบผิว (Surface sizing) ซึ่งจะทำก่อนที่เข้าลูกอบกระดาษ โดยใช้น้ำแป้งฉาบบนผิวกระดาษ ทำให้กระดาษมีผิวเรียบขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มความแข็งแรงของพันธะที่ผิวกระดาษ ทำให้ผิวกระดาษแข็งแรง สามารถต้านทานการขูดลบหรือการถูกดึงผิวกระดาษได้ดี ซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญมากสำหรับกระดาษที่ใช้พิมพ์ กระดาษที่ผ่านการปรับปรุงลักษณะนี้ได้แก่ กระดาษออฟเซ็ต นอกจากนี้กระดาษทิชชูก็สามารถปรับปรุงกระดาษได้โดยเชิงกลโดยทำให้เกิดรอยย่น (Creping) หรือพิมพ์ลายนูน (Embossing) บนผิวกระดาษเพื่อให้กระดาษนุ่มมือขึ้น

2. การเปลี่ยนรูปร่างและม้วนกระดาษ (Physical modification) เป็นการเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างของม้วนกระดาษในขณะเดินแผ่น เพื่อให้เหมาะสมกับม้วนขนาดที่ลูกค้าต้องการ โดยการคลายม้วน (Rewinding) และตัดเป็นแผ่น (Sheeting) นอกจากขั้นตอนต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ยังมีขั้นตอนอีก 2 ขั้นตอนที่กระดาษอาจต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพของผิวกระดาษก่อนออกจำหน่าย ได้แก่

2.1 การเคลือบผิวกระดาษ (Coating) การเคลือบผิวกระดาษเป็นขั้นตอนสำหรับเคลือบผิวกระดาษด้วยตัวเติม โดยมีสารยึดตัวเติมให้ติดบนผิวกระดาษได้ การเคลือบผิวเพื่อช่วยให้กระดาษมีผิวหน้าที่เรียบขึ้นทำให้สภาพพิมพ์ได้ของกระดาษดีขึ้น กระดาษที่ผ่านการเคลือบผิวมีชื่อเรียกว่า “กระดาษเคลือบผิว” (Coated paper) ซึ่งการเคลือบผิวอาจเป็นแบบ “เคลือบด้านเดียว” หรือ “เคลือบสองด้าน” ของกระดาษ และอาจ “เคลือบด้าน” หรือ “เคลือบมัน” ก็ได้ ทั้งนี้การเคลือบด้านหรือเคลือบมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสารเคลือบผิวที่ใช้ ความมันวาวของกระดาษที่นำมาเคลือบผิว

และวิธีการที่ใช้ในการเคลือบผิวเป็นสำคัญ ทั้งนี้อุปกรณ์ในการเคลือบผิวกระดาษอาจเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องผลิตกระดาษหรือแยกออกมาต่างหากก็ได้

2.2 การขัดผิวกระดาษ (Supercalendering) กระดาษที่ผ่านการรีดผิวหรือผ่านการเคลือบผิวมาแล้วเป็นกระดาษที่มีความเรียบและความมันวาวในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มความมันวาวของกระดาษให้มีมากยิ่งขึ้น กระดาษจะรับการขัดผิวโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “ซูเปอร์คาร์แลนเดอร์” (Supercalender) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ต่อแยกออกจากเครื่องผลิตกระดาษ อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยลูกกลิ้งขัดผิวจำนวนมาก มีลักษณะเป็นกระบอกเรียงซ้อนกันในแนวตั้ง โดยมีลูกกลิ้งที่ทำจากเหล็กกล้าขัดมันเรียงสลับกับลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยกระดาษหรือฝ้าย เมื่อสายของแผ่นกระดาษผ่านเข้าไประหว่างลูกกลิ้งแรงกดอัดระหว่างลูกกลิ้งที่กระดาษได้รับมีผลให้เส้นใยเซลลูโลสอัดตัวกันได้มากขึ้น และทำให้กระดาษมีผิวที่เรียบมากขึ้น อันเป็นผลทำให้ความมันวาวของกระดาษเพิ่มขึ้นตามจำนวนครั้งที่กระดาษได้รับการขัดผิว

2.4.6 การแปรรูป (Converting)

เป็นขั้นตอนการนำกระดาษม้วนไปแปรรูปเป็นแผ่น โดยนำไปตัดขนาดให้ได้ตามที่ลูกค้าต้องการ โดยใช้เครื่องตัดแบ่งม้วนโฟลิโอ (Folio sheeter) การแปรรูปเป็นแผ่นกระดาษจะเริ่มต้นด้วยการนำม้วนกระดาษ (Roll) เข้าสู่เครื่องตัด ซึ่งจะตัดแบ่งกระดาษม้วนย่อย 4 ม้วน ม้วนกระดาษย่อยจะถูกส่งต่อเข้าสู่ชุดมีดตัด (Rotary fly knife) ตัดกระดาษแต่ละม้วนให้เป็นแผ่น จนได้จำนวนที่ต้องการแล้วจึงส่งไปห่อ แต่ละห่อจะมีจำนวนแผ่นระบุไว้อย่างแน่นอน จำนวนบรรจุขึ้นอยู่กับลูกค้ากำหนดและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษด้วย กระดาษแต่ละห่อจะรอการบรรจุรวมเพื่อจำหน่ายให้ลูกค้าต่อไป

2.5 ประเภทกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์

กระดาษที่ใช้ในการพิมพ์มีหลายประเภทหลายคุณภาพ ซึ่งผลิตขึ้นตามความต้องการของผู้ใช้ เช่น ใช้พิมพ์ตำราเรียน หนังสือพิมพ์ นิตยสาร กระดาษห่อของ คัมภีร์ไบเบิ้ลปริญญาบัตร และแสตมป์ เป็นต้น นักออกแบบสิ่งพิมพ์จึงควรพิจารณาข้อมูลเพื่อการตัดสินใจเลือกใช้กระดาษตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน [14]

1. กระดาษไม่เคลือบผิว (Uncoated paper) คือ กระดาษที่ผิวหน้ายังคงเป็นเยื่ออาจใส่สารปรุงแต่ง เช่น ตัวเติมหรือสารกันซึม เป็นต้น ในประเทศไทยนิยมเรียกว่ากระดาษปอนด์ กระดาษไม่เคลือบผิวมีหลายชนิด คุณภาพขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเยื่อและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ใช้ รวมทั้งวิธีการรีดผิวและขัดผิวกระดาษไม่เคลือบผิวที่ใช้ในงานพิมพ์มีหลายชนิด มีสีสันและความหนาบางแตกต่างกัน เหมาะสำหรับพิมพ์หนังสือและสิ่งพิมพ์ที่มีตัวอักษร ในการพิมพ์ภาพสีควรใช้ กระดาษเคลือบผิวจะเหมาะกว่า ตัวอย่างของกระดาษไม่เคลือบผิวมีดังนี้

1.1 กระดาษหนังสือพิมพ์ (Newsprint) บางทีเรียกว่ากระดาษปรู๊ฟเป็นกระดาษพิมพ์คุณภาพต่ำ ทำจากเยื่อไม้บด มีทั้งเยื่อใยยาวและเยื่อใยสั้นผสมกันไม่มีสารกันซึม ต้นทุนต่ำ แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1.1.1 กระดาษปรู๊ฟเหลือง ใช้กับสิ่งพิมพ์ประเภทอายุการใช้งานสั้น เช่น หนังสือพิมพ์รายวัน สำเนาใบเสร็จ แผ่นปลิว เป็นต้น ถ้าเก็บไว้นานจะเหลืองเก่าและกรอบ

1.1.2 กระดาษปรู๊ฟขาว ใช้กับสิ่งพิมพ์ทั่วไป เช่น เอกสารตำราที่พิมพ์สีเดียว หรือพิมพ์ขาวดำ

1.1.3 กระดาษปรู๊ฟมัน ใช้ทำหนังสือหรือเอกสารทางวิชาการที่สามารถเก็บไว้นานๆ สำนักพิมพ์บางแห่งนิยมใช้เพราะต้นทุนต่ำ

1.2 กระดาษเอ็มพี (Mechanical printing) เป็นกระดาษหนังสือพิมพ์ที่มีคุณภาพดีกว่าแบบแรก คือ มีส่วนผสมของเยื่อไม้บดน้อยกว่า ในเนื้อกระดาษผสมสารกันซึม

และใส่สารฟอกขาว จึงสามารถใช้ในงานพิมพ์ได้กว้างขวาง เช่น แผ่นพับ แผ่นประกาศโฆษณาและใบแทรก เป็นต้น

1.3 กระดาษปอนด์ (Wood free paper) เป็นกระดาษที่มีลักษณะเรียบ เหนียว ขาว มีคุณภาพดีเก็บไว้ได้นานไม่กรอบเหลือง เหมาะสำหรับสิ่งพิมพ์ที่มีค่าเช่น โฉนดที่ดิน ประกาศนียบัตร ธนบัตร หรือใช้เป็นเนื้อในของนิตยสาร กระดาษปอนด์สามารถใช้พิมพ์สอดสีได้

1.4 กระดาษการ์ด (Card paper) ดูดซึมหมึกได้ดี เหมาะสำหรับงานพิมพ์ที่ต้องการความแข็งแรงทนทาน เช่น เป็นปกหนังสือ โปสเตอร์ บัตรเชิญ เป็นต้น

1.5 กระดาษคาร์ทริดจ์ (Cartridge paper) เป็นกระดาษพิมพ์ออฟเซตที่ผิวกระดาษมีความสามารถรับหมึกได้ดีและผิวเรียบ เหมาะกับการพิมพ์แทบทุกระบบ การยืดหดขยายตัวมีน้อย

1.6 กระดาษพิมพ์ไบเบิ้ล (Bible printing paper) เป็นกระดาษพิมพ์ชนิดพิเศษบาง เหมาะสำหรับพิมพ์หนังสือหลายร้อยหน้าที่มีเนื้อเรื่องมากๆ ต้องการให้มีน้ำหนักน้อยมีความหนาไม่มาก เช่น หนังสือพระคัมภีร์ไบเบิ้ล หนังสือปทานุกรม เป็นต้นกระดาษพิมพ์ไบเบิ้ลต้องผลิตเป็นพิเศษโดยเฉพาะ คือเนื้อกระดาษต้องไม่มีรอยฟองอากาศและต้องให้ทึบแสงมากเท่าที่จะทำได้ เป็นที่รู้จักในชื่อ “กระดาษอินเดีย” ผิวกระดาษจะมีสีครีม สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยออกซ์ฟอร์ดใช้พิมพ์หนังสือศัพท์ปทานุกรม

1.7 กระดาษแอนทิค (Antique) มีผิวหยาบคล้ายฟันเลื่อย มีค่าความหนาปึกมากที่สุด เหมาะสำหรับการพิมพ์หนังสือ แต่มีข้อควรคำนึงคือทิศทางของเส้นใยต้องเหมาะกับการใช้งานโดยเฉพาะเมื่อทำเป็นรูปเล่มหนังสือแล้ว ทิศทางตามเกรนต้องขนานกับสันหนังสือเสมอ เพื่อความสะดวกและทนทานเมื่อพับและเปิดใช้

1.8 กระดาษถาวร (Permanent paper) เป็นกระดาษที่ไม่มีการสูญเสียสภาพสมบูรณ์ของกระดาษอย่างเห็นได้ชัด ภายใต้สภาวะมาตรฐานการเก็บรักษาในห้องสมุดจะอยู่ได้หลายร้อยปี

กระดาษถาวรใช้เยื่อเคมีหรือเยื่อจากเศษผ้าและมีปริมาณเยื่อสูงทนต่อการพับ และต้านต่อการฉีกขาดได้ดี

1.9 กระดาษพิมพ์ออฟเซตม้วนเคลือบสารกันซึม (Web sized offset printing paper WSOP) ทำจากเยื่อไม้บดเป็นส่วนใหญ่ มีสารกันซึมและผิวถูกขัดมันเสมอให้เรียบและมันวาว เหมาะกับการพิมพ์ภาพถ่ายและใช้พิมพ์วารสารและนิตยสาร

1.10 กระดาษเอ็มเอฟ (Machine finished) เป็นกระดาษที่ใช้เยื่อปลอดไม้มีลักษณะกึ่งเรียบ จะเรียบมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขั้นตอนการรีดผิว ตัวแปรที่สำคัญคือแรงกดกับความร้อน เหมาะสำหรับพิมพ์หนังสือหรือเอกสารที่ต้องพิมพ์เป็นจำนวนหน้ามาก เช่น ศัพท์ปทานุกรม หรือแผ่นปลิวก็ได้

2. กระดาษเคลือบผิว (Coated paper) คือกระดาษที่มีชั้นสารเคลือบผิวปกคลุมอยู่บนส่วนผิวเยื่อของหน้ากระดาษ โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะปรับปรุงคุณสมบัติบางอย่างของผิวกระดาษนั้นให้มีสภาพเหมาะสมกับการพิมพ์และให้ได้คุณภาพพิมพ์ตามต้องการ เช่นความเรียบ ความพรุนสี ความทึบแสง และความมันวาว เป็นต้นกระดาษเคลือบผิวมีจุดประสงค์ในการทำให้มีผิวเรียบ เพื่อให้การพิมพ์ภาพและตัวอักษรเรียบและคมชัด น้ำหนักสีสม่ำเสมอ จึงเหมาะกับการพิมพ์ภาพสีที่มีคุณภาพสูงการที่จะกำหนดให้เป็นกระดาษเคลือบผิวได้นั้น ต้องมีสารเคลือบผิวอย่างน้อย3.7 กรัม/ตารางเมตร ต่อ1 หน้ากระดาษ แต่ถ้าปริมาณน้อยกว่านี้กระดาษนั้นจะถูกจัดให้เป็นประเภทกระดาษเคลือบสารกันซึมหรือกระดาษเคลือบน้ำหนักเบา กระดาษเคลือบผิวที่ใช้ในงานพิมพ์มีหลายชนิด มีการเคลือบด้วยเทคนิควิธีการต่างกัน มีทั้งชนิดกระดาษเคลือบด้าน กระดาษเคลือบเรียบด้านและกระดาษเคลือบมันวาวเพื่อให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้สอย ดังนี้

2.1 กระดาษอาร์ต (Art paper) เป็นกระดาษเคลือบผิว มีสีขาว เรียบเนื้อแน่น มีความมันผิวหน้าเคลือบด้วย แคลเซียมคาร์บอเนต ไดดาเนียมออกไซด์ เนื้อในเป็นกระดาษธรรมดาเหมาะสำหรับพิมพ์สอดสี กระดาษอาร์ตมีหลายชนิด เช่น กระดาษอาร์ตการ์ดกระดาษอาร์ตฟาร์บริโน กระดาษอาร์ตด้าน กระดาษอาร์ตแก้ว กระดาษอาร์ตมัน ในกรณีปรู๊ฟภาพสีนิยมใช้กระดาษอาร์ตมีน้ำหนักมาตรฐาน 115 กรัม/ตารางเมตรขึ้นไป ถ้าเป็นเนื้อในหนังสือใช้กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 80-120 กรัม/ตารางเมตร ถ้าเป็นปกในใช้กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 140-360 กรัม/ตารางเมตร ถ้าใช้พิมพ์โปสเตอร์หรือแผ่นพับใช้กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 120-160 กรัม/ตารางเมตร

2.2 กระดาษเคลือบผิวเคลือบมันแก้ว (Casting) เป็นกระดาษเคลือบผิวหน้าเดียวหรือสองหน้า นิยมใช้เป็นปกหลังของหนังสือหรือเป็นการ์ด มีน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 80-300 กรัม/ตารางเมตร มีข้อจำกัดคือผิวมีความเรียบมาก รูพรุนน้อย เป็นอุปสรรคต่อการพิมพ์ให้มีคุณภาพดี และยังต้องระวังเรื่องการแตกหักของสารเคลือบผิวเวลาพับต้องระวังทิศทางการเรียงตัวของเส้นใย

2.3 กระดาษโครโม (Chromo paper) เป็นกระดาษเคลือบมันด้าน ใช้กับงานปรู๊ฟภาพสีและการพิมพ์เสนอผลงาน

2.4 กระดาษทรูโฟล (Truflo paper) เป็นกระดาษเคลือบผิวหน้า ทั้งสองด้านของกระดาษให้มีคุณสมบัติความมันวาวสูง มีน้ำหนักมาตรฐานในช่วง 115-170 กรัม/ตารางเมตรเหมาะกับงานพิมพ์สีคุณภาพสูง เช่น เมนูอาหารหรือเครื่องดื่ม เป็นต้น

2.6 สมบัติของกระดาษ

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งมิได้มีเนื้อเดียวกัน และมีความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษไม่เท่ากันตลอดทั้งแผ่นทั้งนี้เพราะโครงสร้างของกระดาษประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุดช่องระหว่างเส้นใยลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษด้วย [15]

2.6.1 สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural Properties)

1. น้ำหนักมาตรฐาน (Basis weight หรือ Grammage) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่ายที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็น กรัมต่อตารางเมตร ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วยปอนด์ต่อตารางฟุต หรือปอนด์ต่อ 3,000 ตารางฟุต

ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ” (Grammage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษนอกจากใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายกระดาษแล้ว ยังสามารถเปรียบเทียบสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษได้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษประเภทเดียวกันที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยสภาวะต่าง ๆ เหมือนกัน กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมากว่าจะมีความแข็งแรง ความหนา และความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่ำกว่า

2. ความหนา (Thickness หรือ Caliper) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาพวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (inches) หรือมิล (mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (millimeter) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ความหนาแน่นปกติได้จากความสัมพันธ์

ระหว่างมวลต่อปริมาตร สำหรับในวงการกระดาษจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและน้ำหนักมาตรฐานได้เป็นความหนาแน่นเสมือน (Apparent density) ซึ่งจะเป็นการเทียบหาความหนาแน่นของกระดาษที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานเดียวกัน อาจมีความหนาไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

- น้ำหนักกระดาษ 49 กรัมต่อตารางเมตร
- ความหนา 0.085 มิลลิเมตร หรือ $8.5x10^{-5}$ เมตร
- ความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 49/0.085 g/m^3 หรือ 576,470.58 g/m^3

หน่วยของความหนาแน่นเสมือนที่นิยมใช้ในระบบ SI จะกำหนดเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นความหนาแน่นเสมือนที่ได้ของกระดาษชนิดนี้จะเป็น 576 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรฉะนั้นกระดาษที่มีน้ำหนักเท่ากัน แต่มีความหนาของกระดาษต่างกัน กระดาษที่มีความหนามากจะให้ค่าความหนาแน่นเสมือนน้อย ความหนาของกระดาษมีความสำคัญเพราะเครื่องพิมพ์ในแต่ละระบบการพิมพ์หรือเครื่องพิมพ์ในระบบการพิมพ์หรือเครื่องพิมพ์ในระบบการพิมพ์เดียวกันแต่ผลิตจากผู้ผลิตต่างรายกันไม่สามารถพิมพ์ได้ในทุกความหนา การพิมพ์กระดาษที่มีความหนาต่างกันต้องมีการปรับตั้งส่วนตาง ๆ ของเครื่องพิมพ์แตกต่างกัน เพื่อให้สภาพการเดินกระดาษคล่องบนเครื่องพิมพ์มีมากที่สุด

3. ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (Formation) หมายถึง ความแตกต่างของปริมาณเส้นใยที่เกี่ยวประสานหรือเกิดพันธะเคมีต่อกัน ในแต่ละบริเวณของกระดาษ นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับกระดาษพิมพ์ เมื่อนำกระดาษเนื้อไม่สม่ำเสมอกัน (Wild formation) ไปพิมพ์ที่มีคุณภาพไม่ดี ความไมสม่ำเสมอกันของเนื้อกระดาษเกิดขึ้นจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตกระดาษ เช่น เส้นใย สารเติมแต่งต่างๆที่นำมาผสมกันมีความแตกต่างกันในขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น ดัชนีหักเหของแสงและองค์ประกอบทางเคมีนอกจากนี้ยังขึ้นกับขั้นตอนการผสมและการเดินแผ่น ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อการกระจายตัวและจับตัวของสารผสมเหล่านี้ทั้งสิ้น การตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษสามารถทำได้ โดยการยกขึ้นส่องกับแสงสว่าง ถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่ำ (Poor formation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาษไม่เสมอกันปรากฏภาพเป็นดวง ๆ เป็นทาง ๆ เป็นฝ้านม หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ ความสม่ำเสมอของกระดาษมีผลต่อสมบัติของกระดาษทั้งทางเชิงกลและแสง ในเชิงปริมาณจะนิยามความสม่ำเสมอชองเนื้อกระดาษว่าเป็นสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษพื้นที่ขนาดจิ๋ว (100 ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน / น้ำหนักมาตรฐานเฉลี่ย) ปัจจุบันยังไม่มีวิธีวัดที่กำหนดเป็นมาตรฐาน การเพิ่มความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของเส้นใยในกระดาษให้ดีขึ้นอาจทำได้หลายวิธีเช่น ใช้เยื่อใยสั้นมาผสมทำเป็นกระดาษในปริมาณมากขึ้น เพิ่มปริมาณการบดเยื่อให้มากขึ้น ลดความเร็วของสายพายตะแกรงแยกน้ำ เป็นต้น

4. ทิศทางของเส้นใย (Directionality) หมายถึง แนวหรือทิศทางการเรียงตัวของเส้นใยเซลลูโลสในกระดาษ โดยถ้าพิจารณาจากการเกิดเป็นแผ่นกระดาษของน้ำเยื่อบนกระดาษจะพบว่าเส้นใยเซลลูโลสส่วนมากมีการเรียงตัวไปในทิศทางการไหลและการเคลื่อนที่ของตะแกรงบนเครื่อง

ผลิตกระดาษ ดังนั้นแนวการเรียงตัวของเส้นใย หรือแนวเส้นใยของกระดาษจึงอยู่ใน “แนวขนานเครื่อง” (Machine direction, MD) หรอแนวเกรน (Grain direction) มากกว่าส่วนแนวของกระดาษที่ตั้งฉากกับแนวขนานเครื่องเรียกว่า “แนวขวางเครื่อง” (Cross direction,CD) หรือแนวขวางเกรน (Cross-grain direction) เนื่องจากการเรียงตัวของเส้นใยในกระดาษทั้งสองแนวมีความแตกต่างกัน จึงมีผลให้สมบัติของกระดาษทั้งสองแนวแตกต่างกันด้วย จากการที่ทิศทางของเส้นใยเรียงตัวในแนวขนานเครื่องมากกว่าแนวขวางเครื่องทำให้สมบัติทางเชิงกลของกระดาษทั้งสองแนวแตกต่างกัน (Paper anisotropy) การตรวจสอบแนวเกรนของกระดาษมีความสำคัญมากในขั้นตอนการนำกระดาษไปแปรรูป ยกตัวอย่างเช่น การหักพับ เซาะร่อง สามารถทำได้ง่ายในแนวขนานเครื่อง และค่าความทรงรูปในแนวขนานเครื่องที่สูงกว่า มีประโยชน์ในการออกแบบแฟ้ม หรือบรรจุภัณฑ์ต่างๆ

5. ความพรุนของกระดาษ (Porosity) กระดาษที่มองเห็นนั้นไม่ใช่ว่าจะทึบไปทั่วทั้งแผ่นจริงๆ แล้วมีลักษณะเป็นรูพรุนเล็กๆอยู่ภายในกระดาษซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นเส้นใยและส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย กระดาษโดยทั่วไปจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตรอัตราส่วนของปริมาตรรูพรุนของปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกระดาษนั้นเรียกว่าความพรุนของกระดาษวิธีวัดความพรุนของกระดาษโดยตรงทำได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปจะวัดเทียบกับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่านโดยวัดจากปริมาณอากาศ (Total Volume) ที่สามารถไหลผ่านกระดาษในเวลาหนึ่งหน่วยเวลา ในสภาวะการทดสอบมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ความพรุนของกระดาษแสดงถึงความต้านทานอากาศที่สามารถผ่านได้ด้วย ถ้ากระดาษมีความพรุนมาก หมายถึง ความต้านทานอากาศผ่านจะน้อยความต้านทานอากาศซึมผ่านมีความสำคัญมากต่อการใช้งาน เช่น ถุงกระดาษ กระดาษทิชชู กระดาษกรอง กระดาษกันน้ำมัน เครื่องมือที่ใช้วัดความพรุนของกระดาษที่ใช้กันอยู่ มีหลายแบบ เช่น เครื่องเบนท์เซน และเกอร์ฟิว เครื่องเกอร์ฟิวเป็นการวัดโดยการกำหนดให้อากาศคงที่เวลาเปลี่ยนหน่วยที่ใช้วัดจะเป็นเวลาต่อปริมาตรอากาศซึ่งหลักการจะต่างจากของเบนท์เซน ที่เป็นการวัดความต้านทานอากาศโดยวัดเป็นปริมาตรอากาศที่ไหลผ่านในระยะเวลาที่กำหนด หน่วยที่วัดจะเป็นปริมาตรต่อเวลา

6. ความเรียบของผิวกระดาษ (Smoothness) เป็นลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ และความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน ความเรียบมีความสำคัญโดยเฉพาะทางด้านการพิมพ์ โดยจะแปรผันไปตามกระบวนการ และวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต นอกจากนี้การรีดผิวเคลือบผิว ขัดผิว ก็มีผลต่อการเพิ่มความเรียบของผิวกระดาษด้วยเช่นกัน การวัดความเรียบใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกันกับการวัดความพรุน ความราบของผิวกระดาษและการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกด

2.6.2 สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ (Mechanical properties)

สมบัติเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งหมายถึงการที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่าง ๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูปจนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปของสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในการเลือกกระดาษเพื่อนำไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงสมบัติทางเชิงกลของกระดาษด้วย

1. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือความแข็งแรงต่อแรงค้นที่กระทำต่อกระดาษในแนวยาว (Tensile stress) ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญของกระดาษในระบบกรพิมพ์ป้อนม้วนมากกว่ากระดาษในระบบการพิมพ์แบบป้อนแผ่น เนื่องจากการพิมพ์ในระบบป้อนม้วนกระดาษต้องได้รับแรงดึงตึงตลอดเวลา หากกระดาษที่ใช้มีความแข็งแรงต่อแรงดึงน้อยอาจทำให้เกิดการขาดของกระดาษในระหว่างการพิมพ์ได้นอกจากนี้กระดาที่ต้องนำไปขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ก็จำเป็นต้องมีความแข็งแรงต่อแรงดึงด้วย เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปอาจมีแรงดึงกระทำต่อกระดาษไม่มากก็น้อย กระดาษในแนวขนานเครื่องมีความแข็งแรงต่อแรงดึงมากกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของกระดาษได้แก่ ชนิดของเยื่อ ปริมาณการบดเยื่อ ปริมาณการกดรีดน้ำน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ปริมาณของตัวเติม และปริมาณความชื้นในกระดาษ กระดาษที่ทำจากเยื่อใยยาวและผ่านการบดเยื่อมากกว่ามีความแข็งแรงดึงของกระดาษมากกว่ากระดาษที่ทำจากเยื่อที่มีเส้นใยสั้นกว่าและผ่านการบดเยื่อมาน้อยกว่า เพราะเยื่อใยยาวและการบดเยื่อมากทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะเคมีต่อกันได้มากขึ้น จึงมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น การกดรัดน้ำก็มีส่วนทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเช่นกัน ด้วยเหตุผลเดียวกับการใช้เยื่อใยยาวและการเพิ่มปริมาณการบดเยื่อ โดยทั่วไปกระดาษมีความแข็งแรงต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักมาตรฐานที่เพิ่มขึ้นด้วย ความแข็งแรงต่อแรงต่อแรงดึงของกระดาษมีน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณตัวเติมให้กระดาษและปริมาณความชื้นในกระดาษมีมาก เพราะตัวเติมที่เติมเข้าไปมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสเกิดพันธะเคมีระหว่างกันได้น้อยลง ส่วนน้ำทำให้พันธะเคมีระหว่างเส้นใยมีความแข็งแรงน้อยลง ทั้งสองปัจจัยจึงมีผลทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงของกระดาษมีน้อยลง

2. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) หมายถึงความต้านทานต่อแรงที่กระทำกับพื้นที่ หนึ่งตารางเมตรของกระดาษในแนวตั้งฉากก่อนที่กระดาษจะเกิดการขาดทะลุ มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPa) หรือ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความต้านแรงดันทะลุนี้มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับความต้านแรงดึงในแนวขนานเครื่อง ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการกระจายตัวของแรงที่มากระทำต่อชิ้นทดสอบอธิบายได้ดังนี้จากการที่พื้นที่ทดสอบมีลักษณะเป็นวงกลม ในการทดสอบเมื่อเครื่องทดสอบทำงานแผ่นไดอะแฟรมจะถูกดันให้โป่งขึ้นจนทำให้กระดาษ

แตกทะลุ ก่อนที่กระดาษจะแตกออก กระดาษจะเกิดการยืดตัวออกไปในทุกทิศทุกทางแต่เนื่องจากกระดาษมีความยืดในแต่ละทิศทางไม่เท่ากัน ดังนั้นความสามารถในการรับแรงที่มากระทำจึงไม่เท่ากันทุกทิศทาง แนวรอยแตกของชิ้นทดสอบที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะตั้งฉากกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ เพราะกระดาษมีการยืดตัวในแนวที่ต่ำกว่าแนวขวางเครื่อง ด้วยเหตุนี้จึงสามารถบอกได้ว่าแนวรอยแตกเป็นแนวเดียวกันกับแนวขนานเครื่องของกระดาษ ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยมีมากกว่ากระดาษที่ผลิตจากเยื่อใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อและการเติมสารเพิ่มความแข็งแรงผิวทำให้กระดาษมีผลทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ตัวเติมทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่ตัวเติมทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุของกระดาษลดลง ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุเป็นความแข็งแรงของกระดาษที่มีความสำคัญต่อการใช้งาน โดยเฉพาะสิ่งที่นำไปทำเป็นบรรจุภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ

3. ความแข็งแรงต่อแรงฉีก (Tearing strength) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกนำเดิม หน่วยที่วัดได้เป็นมิลลินิวตัน (mN) หรือ กรัม (gram) กระดาษที่จำเป็นที่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบความต้านแรงฉีกขาด ได้แก่ กระดาษทำถุงกระดาษพิมพ์และเขียนหลักการในการตรวจสอบความแข็งแรงต่อแรงฉีกทำโดย ใส่ชิ้นทดสอยที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ในระหว่างปากจับบนแทนเครื่องและบนลูกตุ้มซึ่งเคลื่อนที่ได้ ใช้ใบมีดตัดชิ้นทดสอบเป็นการฉีกนำยาวประมาณ 2 เซนติเมตร ทำการทดสอบโดยปล่อยให้ลูกตุ้มเคลื่อนที่ ชิ้นทดสอบจะฉีกขาด ความแข็งแรงต่อแรงฉีกนี้ขึ้นกับความยาวของเส้นใยเซลลูโลสเป็นสำคัญ โดยเส้นใยยาวมีความแข็งแรงฉีกมากกว่าเส้นใยสั้น การเพิ่มปริมาณการบดเยื่อก็มีผลทำให้ความแข็งแรงต่อแรงฉีดของกระดาษเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกันอย่างไรก็ตามหากบดเยื่อมากเกินไปจนทำให้เส้นใยมีขนาดสั้นลงมาก ความแข็งแรงต่อแรงฉีกของกระดาษก็จะลดน้อยลง แม้วาเส้นใยเซลลูโลสจะเกิดพันธะกันได้กันก็ตามทั้งนี้กระดาษในแนวขนานเครื่องมีความแข็งแรงต่อแรงฉีกน้อยกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง

4. ความแข็งตึง (Stiffness) หมายถึง ความต้นทานของกระดาษต่อการโค้งที่เกิดจากน้ำหนักของตัวกระดาษเอง หรือแรงอื่นที่กระทำต่ำกระดาษนั้น ทั้งนี้กระดาษมีความแข็งแรงตึงมากกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่อง ความแข็งตึงของกระดาษมีความสำคัญต่อการป้อนและรับกระดาษบนเครื่องพิมพ์ โดยปกติในการป้อนกระดาษเข้าพิมพ์มักป้อนกระดาษในแนวขนานเครื่องเข้าพิมพ์โดยให้มีทิศทางเดียวกับทิศทางการเดินแผ่นของเครื่องพิมพ์ เนื่องจากกระดาษในแนวขนานเรื่องมีความแข็งตึงมากกว่า ทำให้สภาพการเดินกระดาษคล่องดีกว่ากระดาษในแนวขวางเครื่องการเพิ่มความแข็งตึงของกระดาษทำได้โดยเพิ่มปริมาณการบดเยื่อ แต่การบดเยื่อมากเกินไปมีผลทำให้ความแข็งตึงของกระดาษลดลงเนื่องจากทำให้เส้นใยมีความยาวน้อยลง ความแข็งตึงของกระดาษลดลงตามปริมาณของตัวเติมที่เติมให้กระดาษ ปริมาณความชื้นในกระดาษ และปริมาณการรีดกระดาษที่เพิ่มขึ้น

5. ความแข็งแรงต่อการพับ (Fold strength) หมายถึงการพับไปพับมา (Double folds) ของชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็น จำนวนครั้ง หรือ log 10 ค่าความทนทานต่อการพับขาดในแนวขนานเครื่องสูงกว่าแนวขวางเครื่อง ความทนต่อการพับขาดจะเป็นการวัดที่รวมความต้นแรงดึง การยืดตัว การแยกชั้นของกระดาษ และความต้นทานแรงกด ซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษหลักการในการตรวจสอบความทนต่อการพับขาดจะทำโดยยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบด้วยแรงคงทีส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกจับด้วยปากจับแล้วพับไปมาด้วยความเร็วคงที่และองศาตามมาตรฐานกำหนด จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

2.6.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (Optical properties)

สมบัติด้านทัศนศาสตร์ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ความขาวสว่าง (Brightness) ความทึบแสง (Opacity) ความมันวาว (Gloss) สมบัติเหล่านี้ของกระดาษไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์อย่างเดียวได้แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกตและสมองตัดสินการรับรู้ในการมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนในกรพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์หรือเครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสงหรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

1. ความขาวสว่าง (Brightness) ในวงการอุตสาหกรรมกระดาษจะหมายถึงค่าการสะท้อนแสงของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น 457 นาโนเมตรเท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่าง เพื่อต้องการดูผลของการฟอกเยื่อเป็นสำคัญ เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกส่วนมากจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงเหลืองอ่อน อันเนื่องจากเนินจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกโดยการขจัดลิกนิน หรือ เปลี่ยนโครงสร้างแล้ว เยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมาก

2. ความทึบแสง (Opacity) ความทึบแสงของกระดาษ เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพหรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดปัญหาในการอ่านและความชัดเจนของสิ่งที่พิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ระหว่างกระดาษแผ่นเดียวที่รองหลังด้วยพื้นดำสนิท กับกระดาษที่วางซ่อนกันหนาจนแสงไม่ผ่านทะลุความทึบแสงและความสว่างต่างขึ้นกับปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการดูดซับแสงกระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากอาจมีปัญหาด้านความทึบแสง เพราะเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมช่วยเพิ่มมากกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดีขึ้นได้

3. ความมันวาว (Gloss) เป็นสมบัติด้านทัศนศาสตร์อย่างหนึ่งของกระดาษเคลือบผิว โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ สำหรับกระดาษนิยมให้เชิงมุม 75 องศากับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (Specular) ดังกล่าวมีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไป (Diffuse) ผิวกระดาษจะดูมันวาวมาก อย่างไรก็ตามกระดาษบางประเภทที่มีความมันวาวมาก เช่น กระดาษชุบไข (waxed paper) อาจใช้มุมในการวัด เช่น 20องศา ความมันวาวของกระดาษกับความเรียบของผิวกระดาษ มิได้มีความสัมพันธ์กันเสมอไปความมันวาวเป็นความพอใจของผู้ใช้แความจำเป็นต่อการใช้งานมากกว่า กระดาษอาร์ตด้าน (matt art) ซึ่งมีความมันวาวต่ำก็สามารถให้ผลงานพิมพ์คุณภาพสูงได้

4. ความขาว (Whiteness) เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง คนจะรู้สึกว่ากระดาษหรือวัสดุใดมีสีขาวกว่าอีกสิ่งหนึ่ง ถ้ากระดาษนั้นสะท้อนแสงในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นออกมาสม่ำเสมอกว่าการย้อม (Tinting) กระดาษขาวด้วยสีม่วงหรือสีน้ำเงินให้ดูขาวขึ้นก็เพราะแสงสีเหลืองและแสงสีแดงถูกดูดซับไว้มากขึ้น จึงถูกสะท้อนออกมาน้อยลง หากวัดค่าความขาวสว่างจะพบว่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากสีที่ใส่ลงไปในการะดาษจะถูกดูดกลืนแสงไว้ แต่สีน้ำเงินจะมีผลกระทบต่อค่าความขาวสว่างน้อยกว่าสีอื่นการใช้สารฟอกนวลในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอัลตราไว้โอเลตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน

2.6.4 สมบัติด้านการกีดกั้น และด้านการต้านทานของกระดาษสมบัติด้านการกีดกั้น (Barrier Property) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ สมบัติด้านการต้านทาน (Resistance Property) หมายถึงความสามารถของกระดาษในการต้านทานการดูดซึมทะลุผ่านของสารใดๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษกระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสาร และการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่นกระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษไขมัน(Greaseproof Paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อบรรจุภัณฑ์ ต้องมี สมบัติด้านการกีดกั้นสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อป้องกันสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน กระดาษจะมีการดูดซึมทะลุผ่านเข้าไปในเนื้อกระดาษ ซึ่งภายในประกอบด้วยรูพรุนและรูปิด จำนวนมากมาย ซึ่งรูเหล่านี้มีผลต่ออัตราการไหลผ่านของกระดาษของสารซึมทะลุ

1. การไหลผ่านกระดาษ อัตราการไหลผ่านระหว่างกระดาษ และสารซึมทะลุ ซึ่งอาจเป็นของเหลวหรือก๊าซจะมีผลต่อการไหลผ่านของกระดาษ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสารซึ่งทะลุเป็นอากาศ หรือก๊าซ อากาศจะไหลผ่านได้ง่ายหรือไม่จะขึ้นอยู่กับขนาดของรูภายในเนื้อกระดาษ อากาศชื้นมีการไหลผ่านกระดาษได้ดีกว่าอากาศแห้งเพราะกระดาษจะดูดซับความชื้นไว้ ทำให้เส้นใยบวมพองส่งผลให้กระดาษขยายตัวซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดรูภายในเนื้อกระดาษ แต่ถ้าสารซึมทะลุเป็นของเหลว การไหล

ผ่านจะขึ้นกับขนาดของรู มุมสัมผัส ที่ของเหลวทำบนผิวกระดาษและเวลาที่ของเหลวทำให้กระดาษเปียก

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการไหลผ่านของของเหลวเข้าไปในเนื้อกระดาษ ได้แก่ รูปร่างและขนาดของรู (Pore Structure and Size) มุมสัมผัสระหว่างของเหลว และผิวกระดาษระยะเวลาที่ทำให้เปียก (Wetting Time) การบวมพองของเส้นใย (Fiber Swelling) และการแพร่กระจาย (Diffusion)

2. การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการต้านทาน สามารถทำได้ 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความต้องการให้กระดาษต้านทานของเหลวชนิดใด เช่น น้ำมัน ไขมัน และความชื้น สามารถทำได้คือ การทำให้สมบัติด้านการต้านทานการซึมทะลุของน้ำมัน และไขมัน การทำให้สมบัติของการต้านทานการซึมทะลุของน้ำ

3. การทำให้กระดาษมีสมบัติด้านการกีดกั้น การทำให้กระดาษมีสมบัติในการไหลผ่านของก๊าซ น้ำ ไอน้ำ น้ำมัน และสารเคมีอื่นๆ ซึ่งนับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญมากของกระดาษบรรจุภัณฑ์ สามรถทำได้โดยการเคลือบผิวกระดาษ การฉาบชั้นฟิล์มบางๆ หรือลามิเนต และการอาบน้ำยา (Impregnation) ด้วยสารกีดกั้น แม้ว่าการใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่นำมาปิดทับกระดาษโดยใช้ สารยึดติดอาจใช้ได้ดี แต่ในปัจจุบันสารกีดกั้นที่ใช้มักเป็นไข PE (Polyethylene) และ PVDC (Polyvinylidene Chloride) ซึ่งใช้สารเหล่านี้เคลือบผิวกระดาษ สารเคลือบจะก่อตัวเป็นฟิล์มบางๆเมื่อแห้งตัว กระดาษที่ผ่านการทำด้วยวิธีนี้จะมีสมบัติในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของน้ำ อากาศ ไขมัน และอื่นๆ สูงเหมาะสำหรับการทำกระดาษบรรจุภัณฑ์

4. การทดสอบสมบัติด้านการต้านทานด้านการดูดซึมน้ำ มีวิธีวัดค่าที่ทดสอบได้ 2 แบบ คือ การทดสอบที่วัดปริมาณของน้ำที่ถูกกระดาษดูดซับไว้ ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด โดยวิธีคอบบ์เทสท์ (Cobb Test) และการทดสอบที่วัดระยะเวลาที่น้ำซึมทะลุผ่านภายใต้ระยะทางที่กำหนด

2.6.5 คุณสมบัติของกระดาษพิมพ์

ระบบการพิมพ์ การพิมพ์ระบบออฟเซต ระบบเลตเตอร์เพรสระบบกราเวียร์ และระบบสกรีน ดังนั้นการเลือกกระดาษจึงพิจารณาสำหรับการพิมพ์แต่ละระบบซึ่งมีหลักการที่แตกต่างกัน กระดาษที่ใช้พิมพ์จึงต้องการสมบัติที่แตกต่างกัน สมบัติต่างๆโดยทั่วไปของกระดาษพิมพ์มีดังนี้ [16]

1. การคงสภาพเชิงมิติ (Dimensional stability) เป็นสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่งของกระดาษพิมพ์ คือความสามารถของแผ่นกระดาษที่จะรักษามิติและลักษณะรูปร่างไว้ในสภาพที่อุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป หรืออยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงกระทำจากเครื่องพิมพ์

2. สภาพโก่งงอ (Curling) คือการเปลี่ยนสภาวะกระดาษจากแผ่นเรียบไปเป็นสภาพโค้งงอ เนื่องจากกระดาษได้รับความชื้น แล้วมีการยืดหดในแนวทิศทางตามเกรนและทิศทางขวางเกรนไม่เท่ากัน

3. ความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ (Bursting strength) คือค่าแรงดันสูงสุดที่กระทำต่อผิวหน้ากระดาษในแนวตั้งฉากที่ทำให้กระดาษแผ่นนั้นทนได้ก่อนที่จะแตกออก มีหน่วยเป็นกิโลปาสกาล (kPs) หรือกิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร

4. ความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือค่าแรงดึงสูงสุดที่กระดาษ จะทนได้ก่อนที่จะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็นกิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (lb/in.)

5. ผิวกระดาษพอง (Blistering) คือปรากฏการณ์ที่สารเคลือบผิวบางส่วนของกระดาษพิมพ์หลุดออกไปอย่างเห็นได้ชัดเพราะมีฟองอากาศอยู่ สาเหตุอาจมาจากการระเหยน้ำเร็วเกินไปในขั้นตอนการเคลือบผิวกระดาษ

6. ความทนการพับ (Folding endurance) หมายถึงจำนวนการพับไปมา (double folds) ที่ทำให้แผ่นกระดาษขาดจากกัน เมื่อใช้แรงดึงที่กำหนด

7. แนวเส้นใย (Grain direction) โดยทั่ว ๆ ไปจะมี 2 ทิศทาง คือด้านขนานเครื่อง (Machine direction, MD) หมายถึงแนวของกระดาษที่มีทิศทางไปตามความยาวของเครื่องทำกระดาษและด้านขวางเครื่อง (Cross machine direction, CD) หมายถึงแนวของกระดาษที่มีทิศทางตั้งฉากกับ ด้านขนานเครื่องพิมพ์

8. ปริมาณความชื้น (Moisture content) หมายถึงปริมาณน้ำในแผ่นกระดาษ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักเดิมของแผ่นกระดาษ

9. ความต้านแรงฉีก (Tearing resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงซึ่งทำให้กระดาษ 1 ชิ้นขาดต่อจากรอยขาดเดิม

10. สมบัติอื่น ๆ เช่น ความสกปรก (Dirt) ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวภายใน (Internal-bond strength) และขุยกระดาษ (Linting) เป็นต้น

2.7 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และเขียน (มอก.287-2533)

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้ [17]

1. กระดาษพิมพ์และเขียน (Printing and Writing paper) หมายถึง กระดาษที่ทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสำหรับการพิมพ์หรือเขียน ยกเว้นกระดาษหนังสือพิมพ์

2. กระดาษพิมพ์ (Printing paper) หรือเดิมเรียกว่า “กระดาษปอนด์สำหรับพิมพ์” หมายถึงกระดาษที่ทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสำหรับการพิมพ์ด้วยระบบเลตเตอร์เพรสส์

3. กระดาษเขียน (Writing paper) หรือเดิมเรียกว่า “กระดาษปอนด์สำหรับเขียน” หมายถึงกระดาษที่ทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสำหรับการเขียนด้วยหมึกแล้วไม่ซึม

4. กระดาษออฟเซ็ต (Offset paper) หรือเดิมเรียกว่า “กระดาษปอนด์สำหรับพิมพ์ออฟเซ็ต” หมายถึงกระดาษที่ทำขึ้นเพื่อให้เหมาะสำหรับการพิมพ์ระบบออฟเซ็ต

คุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษประเภทไม่เคลือบผิว

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษพิมพ์

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบ
		น้ำหนักมาตรฐาน กรัมต่อตารางเมตร					
		50	60	70	80	90	
1	ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมาตรฐาน ร้อยละไม่เกิน	+/- 5					ISO 536
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	10	10	10	10	10	ISO 287
3	ความต้านทานแรงดันทะลุ กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า	40	55	70	80	100	ISO 2758
4	ความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษสีขาว) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	75	75	75	75	75	ISO 2470
5	ความทึบแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	77	81	83	85	90	ISO 2471

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน มอก. 287-2533

ตารางที่ 2.6 คุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษเขียน

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบ
		น้ำหนักมาตรฐาน กรัมต่อตารางเมตร					
		50	60	70	80	90	
1	ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมาตรฐาน ร้อยละไม่เกิน	+/- 5					ISO 536
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	10	10	10	10	10	ISO 287
3	ความต้านทานแรงดันทะลุ กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า	40	55	70	80	100	ISO 2758
4	การดูดซึมน้ำ 45 วินาที กรัมต่อตารางเมตร ไม่เกิน	25	25	25	25	25	ISO 535
5	ความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษสีขาว) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	75	75	75	75	75	ISO 2470
6	ความทึบแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	77	81	83	85	90	ISO 2471

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน มอก. 287-2533

ตารางที่ 2.7 คุณลักษณะที่ต้องการของกระดาษออฟเซ็ต

รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด					วิธีทดสอบ
		น้ำหนักมาตรฐาน กรัมต่อตารางเมตร					
		50	60	70	80	90	
1	ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักมาตรฐาน ร้อยละไม่เกิน	+/- 5					ISO 536
2	ความชื้น ร้อยละ ไม่เกิน	10	10	10	10	10	ISO 287
3	ความต้านทานแรงดันทะลุ กิโลพาสคัล ไม่น้อยกว่า	50	60	80	90	110	ISO 2758
4	การดูดซึมน้ำ 45 วินาที กรัมต่อตารางเมตร ไม่เกิน	25	25	25	25	25	ISO 535
5	ความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษสีขาว) ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	75	75	75	75	75	ISO 2470
6	ความทึบแสง ร้อยละ ไม่น้อยกว่า	77	81	83	85	90	ISO 2471
7	ความแข็งแรงของผิวกระดาษ หมายเลขของแท่งขี้ผึ้ง ไม่น้อยกว่า	10A	10A	10A	10A	10A	TAPPI T 459

ที่มา : มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน มอก. 287-2533

ตารางที่ 2.8 คุณลักษณะของกระดาษอื่นๆ ตามวิธีทดสอบ SCAN และ TAPPI

คุณลักษณะ	ประเภทกระดาษ	ข้อมูล	วิธีทดสอบ
ความหนา (ไมโครเมตร)	กระดาษหนังสือพิมพ์	60-80	TAPPI T 411
	กระดาษสำนักงาน	105-110	
ความหยาบ (มิลลิลิตรต่อนาที)	กระดาษหนังสือพิมพ์	80-140	SCAN-P21
	กระดาษสำนักงาน	100-300	
การซึมผ่านของอากาศ (มิลลิลิตรต่อนาที)	กระดาษไม่เคลือบผิว	500-1500	TAPPI T 547
	กระดาษเคลือบผิว	0-10	
ความต้านทานแรงฉีกขาด (มิลลินิวตัน/กรัมต่อตารางเมตร)	กระดาษเคลือบผิว	500-700	SCAN-P11
	กระดาษสำนักงาน	500-600	
ความต้านทานแรงดึงขาด (นิวตันเมตรต่อกรัม)	กระดาษหนังสือพิมพ์	MD 45-60 CD -	SCAN-P67
	กระดาษเขียน	MD 40-70 CD 20-40	
ความต้านทานการโค้งงอ (มิลลินิวตัน)	กระดาษเคลือบผิว	MD 65 CD 45	SCAN-P29
	กระดาษสำนักงาน	MD 39 CD 17	

ที่มา : http://www.paperonweb.com/pulppro.htm, [9]

ตารางที่ 2.9 ลักษณะของกระดาษพิมพ์เขียน 80 แกรม ยี่ห้อ Double A

คุณลักษณะ	ข้อมูล
ความขาวสว่าง (เปอร์เซ็นต์)	102-104
น้ำหนักมาตรฐาน (กรัมต่อตารางเมตร)	80 ± 2
ความหนา (ไมโครเมตร)	110
ความทึบแสง (Opacity)	95
ค่าการดูดซึมน้ำ (กรัมต่อตารางเมตร)	30
ค่าความหยาบผิวหน้ากระดาษ (มิลลิลิตรต่อนาที)	100-200
ความต้านทานแรงดึงขาด MD (กิโลนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม)	46
ความต้านทานแรงดึงขาด CD (กิโลนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม)	28
ความต้านทานการโค้งงอ MD (มิลลินิวตัน)	110
ความต้านทานการโค้งงอ CD (มิลลินิวตัน)	50

ที่มา http://www.doubleapaper.com/in/doublea-paper

2.8 ระบบการพิมพ์ออฟเซต

หลักการของระบบการพิมพ์ออฟเซต

เทคโนโลยีระบบพิมพ์ออฟเซต ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2341 โดยนายอะลัว เซเนเฟลเดอร์ (Alois Senefelder) ชาวเยอรมัน เป็นผู้คิดค้นมีหลักการ คือ ใช้แผ่นหินอ่อนเป็นแม่พิมพ์พื้นราบ โดยให้น้ำกับหมึกเป็นตัวแยกบริเวณที่ไม่ใช่ภาพและภาพตามลำดับ ถ่ายทอดหมึกโดยตรงไปยังกระดาษ สมัยนั้นเรียกชื่อว่า ระบบการพิมพ์หิน (lithographic printing) จนกระทั่งในปีพ.ศ. 2448 เครื่องพิมพ์ออฟเซตจริงๆได้เกิดขึ้น โดย นายอิรา รูเบิล (Ira Rubel) ชาวอเมริกัน เป็นคนแรกที่ทำธุรกิจพิมพ์ออฟเซต ประสบความสำเร็จจนมีชื่อเสียงในรัฐนิวเจอร์ซี ประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผลให้ระบบพิมพ์ออฟเซตมีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักตั้งแต่ปีนั้นเป็นต้นมา เป็นระบบ โม 3 ลูก คือ โมแม่พิมพ์ โมผ้ายาง และโมกดพิมพ์ แม่พิมพ์เปลี่ยนไปใช้แผ่นโลหะสังกะสี ที่มีการขัดผิวและเคลือบสารไวแสงที่ผสมเอง ฟิล์มต้นฉบับ แล้วนำไปล้างในน้ำยาสร้างภาพ เพื่อแยกส่วนที่เป็นภาพและไม่ใช่ภาพส่วนบริเวณไม่ใช่ภาพก็คือ ผิวโลหะ ทำหน้าที่รับน้ำเพื่อเป็นชั้นกันไม่ให้หมึกติดบริเวณนี้ ที่น่าสนใจคือ แม่พิมพ์จะถ่ายทอดภาพไปยังโมผ้ายางก่อนแล้วถ่ายโอนไปยังกระดาษเป็นขั้นตอนสุดท้าย และในปีพ.ศ. 2487 บริษัท Kalle Fabrik พัฒนาแม่พิมพ์สำเร็จรูป (Persensitized plate) ใช้โลหะอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารไวแสงไดอะโซ (Diazo photosensitive material) เป็นครั้งแรก ทำให้คุณภาพงานพิมพ์เป็นที่ยอมรับมาจนกระทั่งปัจจุบัน ดังนั้น ระบบพิมพ์ออฟเซต อาจกล่าวได้ว่าเป็น

การพิมพ์ที่แม่พิมพ์ จะต้องถ่ายโอนภาพ (Image) ลงบนผ้ายางก่อน (Blanket) แล้วจึงถ่ายโอนต่อลงบนวัสดุใช้พิมพ์ด้วยแรงกดของโมกดพิมพ์ (Impression cylinder) [19]

หน่วยพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ออฟเซตประกอบด้วยองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. โมแม่พิมพ์ (Plate Cylinder) เป็นโลหะเหล็กทรงกระบอก ทำหน้าที่จับยึดแม่พิมพ์และรองหนุนให้แน่นมั่นคงมีตำแหน่งสัมผัสกับลูกกลิ้งน้ำคลึงเพลต ลูกกลิ้งหมึกคลึงเพลตและโมผ้ายาง ในขณะพิมพ์ จะทำหน้าที่ถ่ายโอนภาพลงบนโมผ้ายาง

2. โมผ้ายาง (Blanket Cylinder) เป็นโลหะเหล็กทรงกระบอกทำหน้าที่จับยึดผ้ายางให้แน่น มีตำแหน่งสัมผัสกับโมแม่พิมพ์กับวัสดุพิมพ์ โดยรับภาพจากโมแม่พิมพ์ และถ่ายโอนภาพลงบนวัสดุใช้พิมพ์ ผ้ายางที่ใช้จะมีสมบัติความแข็งและยืดหยุ่นตัวต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้พิมพ์

3. โมกดพิมพ์ (Impression Cylinder) เป็นโลหะเหล็กทรงกระบอกสำหรับรองรับวัสดุใช้พิมพ์ มีตำแหน่งชิดกับโมผ้ายาง ทำหน้าที่กดวัสดุใช้พิมพ์ให้สัมผัสกับผิวผ้ายาง เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนหมึก

4. หน่วยทำชื้น (Dampening unit) ทำหน้าที่จ่ายน้ำยาฟาวน์เทน ที่มีส่วนผสมของกัม กรดอ่อน และสารเคมีเติมแต่งอื่นๆ จากรางน้ำให้แก่แม่พิมพ์บริเวณที่ไม่ใช่ภาพ

5. หน่วยลงหมึก (Inking unit) ทำหน้าที่จ่ายหมึกพิมพ์จากรางหมึก (Ink duct) ไปตามชุดลูกกลิ้งหมึก ที่มีหลายลูกไปจนถึงลูกกลิ้งหมึกคลึงเพลต

2.9 มาตรฐานการพิมพ์ของแผ่นพิมพ์ออฟเซต

มาตรฐานการพิมพ์ หรือ อาจเรียกว่า Print Color Standard อาจอยู่ในรูปลักษณะเป็นข้อมูลข้อกำหนดเป็นตัวเลข เช่น ค่าความดำ ค่าสี และค่าเม็ดสกรีนบวม เป็นต้น หรือ ตัวอย่างแถบสีพิมพ์ (Color Patch Samples) เพื่อใช้เปรียบเทียบควบคุมงานพิมพ์ ก็ได้ ขึ้นอยู่กับความถนัดของช่างพิมพ์ และมาตรฐานเหล่านี้สามารถใช้เอง (In-house / National Standard) หรือใช้ตามมาตรฐานสากล (International Standard) การกำหนดมาตรฐานการพิมพ์จะช่วยพัฒนาขีดความสามารถของผู้ประกอบการให้สามารถแข่งขันกับตลาดโลกได้ รวมทั้งจะช่วยสร้างโครงสร้างของอุตสาหกรรมการพิมพ์ให้มีระบบมากขึ้น ตั้งแต่ขั้นตอนของการทำงานรวมไปถึงวัสดุต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หมึกพิมพ์ และกระดาษพิมพ์ ซึ่งถือว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ใช้และผู้ผลิต ที่มีเป้าหมายเดียวกัน ตัวอย่าง เช่น ISO 2846-1 เป็นมาตรฐานหมึกพิมพ์ออฟเซต เป็นต้น [20]

2.9.1 การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของหมึกพิมพ์

การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพหมึกพิมพ์ในโรงพิมพ์ไม่จำเป็นต้องทำอย่างละเอียดในทุกขั้นตอน เหมือนกับที่ทำในโรงผลิตหมึกพิมพ์ เพราะการผลิตหมึกพิมพ์ในแต่ละขั้นตอนนั้นต้องได้มาตรฐานเดียวกันก่อนที่จะบรรจุและส่งจำหน่าย ตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของหมึกพิมพ์ในโรงพิมพ์นั้นทำได้โดยการสังเกตและทดสอบคุณลักษณะและสมบัติที่สำคัญของหมึกพิมพ์ที่มีผลกระทบกับการพิมพ์โดยตรง ก่อนที่จะนำไปใช้พิมพ์จริง ในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพหมึกพิมพ์ภายในโรงพิมพ์นั้นเน้นที่การทดสอบสมบัติบางประการของหมึกพิมพ์เป็นสำคัญ โดยอาศัยเครื่องมือวัดต่างชนิดกันในการทดสอบสมบัติเหล่านี้ [21]

1. ความหนืด (Viscosity) เป็นความต้านการไหล (Resistance to Flow) ที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีมาก จะเกิดแรงต้านทานต่อการไหลมาก ความหนืดจะสูง ความหนืดของหมึกพิมพ์เป็นสมบัติที่แปรผันกับการไหล กล่าวคือ หมึกพิมพ์ที่หนืดมากจะไหลช้า หมึกพิมพ์ที่หนืดน้อยจะไหลเร็ว หากโรงพิมพ์ไม่มั่นใจในคุณภาพของหมึกพิมพ์ ก็อาจจะทดสอบด้วยเครื่องวัดความหนืดหรือเครื่องวิสโคมิเตอร์ (Viscometer)

2. ความเหนียว (Tack) ของหมึกพิมพ์เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของหมึกพิมพ์ ความเหนียวของหมึกพิมพ์นับว่าเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับในการพิมพ์สอดสี โดยเฉพาะการพิมพ์สี่สีที่ต้องใช้หมึกพิมพ์ชุดสี่สี ลำดับค่าความเหนียวของหมึกแต่ละสีมีความสำคัญซึ่งช่างพิมพ์ต้องพิมพ์หมึกแต่ละสีตามลำดับความเหนียวให้ถูกต้อง โดยพิมพ์จากค่าความเหนียวมากไปหาน้อย กล่าวคือ พิมพ์หมึกพิมพ์ที่มีค่าความเหนียวมากที่สุดก่อน และพิมพ์หมึกที่มีค่าความเหนียวน้อยที่สุดเป็นลำดับสุดท้าย ถ้าพิมพ์ผิดลำดับ หมึกพิมพ์สีที่พิมพ์ตามหลังจะถอนผิวหมึกพิมพ์สีที่พิมพ์ไปก่อน เป็นผลให้เกิดปัญหาต่อคุณภาพงานพิมพ์ ช่างพิมพ์ต้องพึงระวังในการพิมพ์สีหมึกให้ถูกต้องตามลำดับค่าความเหนียวของหมึกพิมพ์ตามที่ผู้ผลิตหมึกแนะนำไว้ เครื่องมือที่ใช้วัดความเหนียวของหมึกพิมพ์มีหลายแบบเช่น แทกโอมิเตอร์ (tack-o meter) และอิงโคมิเตอร์ (Inkometer)

ค่าความเหนียวสามารถเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่ผู้ผลิตระบุไว้ในระหว่างกระบวนการพิมพ์ เพราะอุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ในการพิมพ์จะส่งผลโดยตรงกับค่าแทค ซึ่งอาจเคยพบกรณี หมึกพิมพ์ยี่ห้อนี้เหลวแต่ใช้กับโรงพิมพ์นี้ได้ดี ทั้งนี้เพราะสภาพแวดล้อม เครื่องพิมพ์ ความเร็ว และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนียวในช่วงเวลาต่างๆ กันในระหว่างกระบวนการพิมพ์ สิ่งที่ผู้ประกอบการพิมพ์ให้ความสำคัญกับค่าแทคเป็นอย่างมากคือกระบวนการพิมพ์หลายสีซ้อนทับกัน อาจเป็น 2 สี หรือ 4 สี หรือ มากกว่านั้น ซึ่งค่าความเหนียวของหมึกแต่ละสีจะเป็นตัวกำหนดลำดับขั้นการพิมพ์ ในทางทฤษฎีจะจัดลำดับการพิมพ์ 4 สี คือ สีดำ (Black) สีฟ้า (Cyan) สีแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) โดยจะเรียงตามลำดับของค่าความเหนียว

2.9.2 มาตรฐานการพิมพ์

จะประกอบไปด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้

1. แบบทดสอบสำหรับพิมพ์เพื่อวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงาน
2. เครื่องมือวัดความดำ และวัดสี
3. อุปกรณ์กล้องส่องดูเม็ดสกรีน
4. เครื่องมือสร้างโปรไฟล์
5. ข้อมูลจำเพาะสำหรับปริมาณการจ่ายหมึก และการบวมของเม็ดสกรีน

2.9.3 หลักเกณฑ์ในการพิจารณาค่าความดำพื้นทึบและเม็ดกรีนบวม

การพิจารณาค่าความดำพื้นทึบและเม็ดสกรีนบวม มีวิธีการดังนี้ [20]

1. ทำการพิมพ์จ่ายหมึกจากน้อยไปหามาก เพื่อเพิ่มความเข้มและความเปรียบต่างของภาพพิมพ์ จนกระทั่งภาพพิมพ์ดูคล้ำและอาจเกิดสกัมขึ้นได้อย่างเห็นได้ชัด

2. วัดคอนทราสต์หรือค่าเปรียบต่าง (PC) ของภาพพิมพ์จากแผ่นพิมพ์ข้างต้นของแต่ละสี นำไปพล็อตกราฟระหว่างค่าความดำพื้นทึบกับค่าเปรียบต่างที่คำนวณได้ ให้พิจารณาจากแผ่นพิมพ์ที่ให้ค่าเปรียบต่างสูงที่สุดของแต่ละสี แผ่นที่ได้นี้ถือว่าเป็นแผ่นพิมพ์อ้างอิงที่จะนำไปใช้วัดค่าความดำพื้นทึบ และค่าเม็ดสรีนบวมของระบบพิมพ์นั้นต่อไป

ตารางที่ 2.10 ค่าความดำพื้นทึบ (Solid Density)

ประเภทกระดาษ	ค่าความดำพื้นทึบ (Solid Density)			
	C	M	Y	K
1. High glossy papers	1.45	1.40	1.40	1.85
2. Coated papers	1.35	1.30	1.30	1.75
3. Uncoated papers	1.20	1.15	1.20	1.55

ที่มา: A Guide to Understanding Graphic Arts Densitometry; X-rite (Values are recommended from UGRA / FOGRA)

สำหรับกระดาษประเภทที่ 1 และ 2 ความคลาดเคลื่อนค่าความดำพื้นทึบ สี CMY อยู่ที่ ± 0.10 และสี K อยู่ที่ ± 0.15 ส่วนค่าความดำพื้นทึบของกระดาษไม่เคลือบผิวจะอยู่ที่คุณภาพของกระดาษ

ตารางที่ 2.11 ค่าเม็ดสกรีนบวมตามมาตรฐาน ISO 12647-2: 2004 ของกระดาษไม่เคลือบผิวสีขาว

พื้นที่ เม็ดสกรีน	ค่าน้ำหนักสีที่เพิ่มขึ้น			
	C	M	Y	K
0	0	0	0	0
10	10.2	9.7	10	11.8
20	18.2	17.5	17.7	20.5
30	22.9	22.4	22.6	25.7
40	25.1	24.9	25.1	28.1
50	25.7	25.7	25.7	28.2
60	24.1	24.4	24.5	26.5
70	20.7	21.5	21.6	22.8
80	15.5	16.7	16.7	17.4
90	8.30	9.10	9.20	9.50
100	0	0	0	0

ที่มา : http://www.color.org/chardata/fogra32.xalter

2.9.4 ค่าสีของกระดาษพิมพ์ และค่าสีของชุดหมึกพิมพ์ตามมาตรฐาน ISO 12647-2: 2004

ตารางที่ 2.12 มาตรฐานค่าสี ความมันวาว และความขาวสว่างของกระดาษพิมพ์ ตามมาตรฐาน ISO 12647-2: 2004 [20]

ประเภทกระดาษ	ค่าสี [1]			ความมันวาว [2] %	ความขาวสว่าง [3] %
	L*	a*	b*		
1. กระดาษเคลือบผิวมัน	93 (95)	0 (0)	-3 (-2)	65	89
2. กระดาษเคลือบผิวด้าน	92 (94)	0 (0)	-3 (-2)	38	89
3. กระดาษเคลือบผิวแบบม้วน	87 (92)	-1 (0)	3 (5)	55	70
4. กระดาษไม่เคลือบผิวสีขาว	92 (95)	0 (0)	-3 (-2)	6	85
5. กระดาษไม่เคลือบผิวสีเหลือง	88 (90)	0 (0)	6 (9)	6	85
ช่วงการยอมรับ	± 3	± 2	± 2	± 5	-

ที่มา : อรัญ หาญสืบสาย, 2547

หมายเหตุ

[1] การวัดค่าสี L*a*b* ได้กำหนดเป็นค่าที่วัดบนพื้นหลังสีดำ (black backing) แหล่กำเนิดแสงเปรียบเทียบ D50 มุมการมอง 2 องศา และมุมรับแสง 0/45 ส่วนค่าสีที่อยู่ในวงเล็บเป็นค่าสีที่วัดบนพื้นหลังสีขาว ซึ่งกำหนดใน CGATS.5 และสามารถใช้กระดาษที่มีความหนามากกว่า 115 กรัมต่อตารางเมตรได้ด้วย

[2] การกำหนดค่าความมันวาวของกระดาษ ใช้มาตรฐาน ISO 8254-1 วิธีการตาม TAPPI

[3] การวัดความขาวสว่าง กำหนดค่าสะท้อนแสงที่ 460 นาโนเมตร ตามมาตรฐาน ISO 2470

ตารางที่ 2.13 ค่าสีของชุดหมึกพิมพ์ ตามมาตรฐาน ISO 12647-2: 2004 ของกระดาษประเภทที่ 4 (กระดาษไม่เคลือบผิวสีขาว)

Colour	ค่าสี		
	L*	a*	b*
Black	31	1	1
Cyan	60	-26	-44
Magenta	56	61	-1
Yellow	89	-4	78
Red	54	58	32
Green	53	-47	17
Blue	37	13	-33

ที่มา : อรัญ หาญสืบสาย, 2547

หมายเหตุ – ค่าสีหมึกพิมพ์ในตารางที่ 2.13 เป็นไปตามค่าสีหมึกพิมพ์ในมาตรฐาน ISO 2846-1 และมีลำดับการพิมพ์สีก่อนหลังคือ สีดำ สีน้ำเงินเขียว สีม่วงแดง และสีเหลือง

- ค่าสีหมึกพิมพ์ในตารางที่ 2.13 เป็นการวัดบนพื้นหลังสีขาว ซึ่งกำหนดใน CGATS.5

- ค่าสีของสีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียวที่เกิดจากหมึกพิมพ์แม่สี 2 สีพิมพ์ซ้อนทับกัน อาจมีความแตกต่างไปเนื่องจากลำดับการพิมพ์สี สมบัติการไหลและความโปร่งใสของหมึกพิมพ์ สภาพเครื่องพิมพ์ และลักษณะของผิววัสดุใช้พิมพ์

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พลากร หอมศรีวรานนท์ และคณะ [22] การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเยื่อกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยของกาบมะพร้าวและเยื่อกระดาษที่ผลิตจากลำต้นมะพร้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติของเยื่อและกระดาษ เพื่อผลิตเป็นกระดาษพิมพ์และเขียน การทดลองได้หาความเข้มข้นของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการต้มเยื่อจากเส้นใยกาบมะพร้าวที่เหมาะสมคือ ร้อยละ 21 โดยให้ปริมาณเยื่อสูงสุดที่ร้อยละ 46.2 และความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการต้มเยื่อจากลำต้นมะพร้าวที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 24 โดยให้ปริมาณเยื่อที่ได้สูงสุดที่ร้อยละ 47.8 และฟอกเยื่อโดยวิธีการฟอกที่ปราศจากคลอรีนอิสระ (Elemental Chlorine Free bleaching) แล้วนำมาเติมสารเติมแต่ง โดยเติมสารเพิ่มการตกค้าง 0.39%

(RA), สารต้านทานการซึมน้ำ 2% (AKD), แป้งดัดแปร 1.2% และแคลเซียมคาบอเนต 2% ของน้ำหนักเยื่อแห้ง และขึ้นแผ่นกระดาษจากเยื่อทั้ง 2 ชนิดน้ำหนัก 80 กรัมต่อตารางเมตร จากการศึกษาพบว่าเยื่อลำต้นมะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่าเยื่อเส้นใยกาบมะพร้าว ทั้งด้านกายภาพ เชิงกล และทัศนศาสตร์ โดยมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงตามมาตรฐาน มอก. 287-2533 และในด้านคุณภาพของงานพิมพ์พบว่าเยื่อลำต้นมะพร้าวมีคุณสมบัติดีกว่าเยื่อเส้นใยกาบมะพร้าว ทั้งค่าความดำ (Density), ค่าการบวมเม็ดสกรีน (Dot Gain) และค่าขอบเขตสี (Color gamut) ที่ใกล้เคียงกับมาตรฐาน ISO 12647-2 ดังนั้นกระดาษจากเยื่อลำต้นมะพร้าวจึงเหมาะสำหรับนำไปผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียนออฟเซตมากกว่ากระดาษจากเส้นใยกาบมะพร้าว

ชัยภัทร สิริพลวฒน์ และ อาศีร์กร กล่อมเกลา [23] การวิจัยเรื่อง การพัฒนากระดาษจากใบสับปะรดเพื่อการพิมพ์ในระบบการพิมพ์ออฟเซต งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตกระดาษจากใบสับปะรดเพื่อผลิตกระดาษที่มีสมบัติที่เหมาะกับการพิมพ์ในระบบออฟเซต และทดสอบสมบัติที่เหมาะสมในการพิมพ์ระบบออฟเซตของกระดาษที่ผลิตจากใบสับปะรด ในการทดลองได้ศึกษาผลของปริมาณสารเติมแต่งต่างๆที่ส่งผลต่อสมบัติของกระดาษ โดยเริ่มจาก 1.ศึกษาจากสารเติมเต็ม (Fillers) แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 7 ระดับคือ 0 5 10 15 20 25 และ 30 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง 2.ศึกษาปริมาณสารเพิ่มความแข็งแรง ได้แก่ แป้งดัดแปร (Cationic Starch) 4 ระดับคือ 0 6 12 และ 18 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง 3. ศึกษาการเติมสารกันซึม ได้แก่ แอลคิลโตนไดเมอร์ (Alkyl Ketone Dimer, AKD) 5 ระดับ คือ 0 5 10 15 และ 20 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง จากนั้นนำระดับที่เหมาะสมที่สุดมาทำการฉาบผิวและรีดผิวหน้ากระดาษ และทำการทดสอบสมบัติกระดาษในด้านต่างๆ ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน ความหนา ความต้านแรงดึงขาด การดูดซึมน้ำ ความขาวสว่าง ความทึบแสง ความขาว และค่าสี จากผลการศึกษาพบว่า ที่ระดับปริมาณสารเติมเต็ม 20 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง สารเพิ่มความแข็งแรง 12 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง และสารกันซึม 20 กิโลกรัมต่อตันของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง ทำให้กระดาษที่ผลิตจากใบสับปะรดมีความต้านแรงดึงสูงที่สุด และมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด จากนั้นทำการศึกษาการฉาบผิวและรีดผิวหน้ากระดาษ จากผลการศึกษาพบว่า กระดาษมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงและความเรียบของผิวหน้ากระดาษ จากการทดสอบสมบัติต่างๆของกระดาษสับปะรดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับกระดาษพิมพ์เขียนในท้องตลาด แต่ยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมของกระดาษพิมพ์ออฟเซต

สิทธิศานต์ วชิรานุภาพ [24] การวิจัยเรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเยื่อกระดาษจากต้นธูปฤาษี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตเยื่อกระดาษจากต้นธูปฤาษี และเปรียบเทียบคุณสมบัติกับมาตรฐานกระดาษพิมพ์และเขียน มอก. 287-2533 การทดลองได้หาสภาวะในการต้มเยื่อโดยวิธีการซัลเฟต (Kraft - process) ทดสอบ 3 สภาวะคือ effective alkali ที่ร้อยละ15, 20, 30 และ sulfidity ที่ร้อยละ 20, 25, 30 ระยะเวลาการต้ม 2 ชั่วโมง และทำการฟอกเยื่อโดยวิธีการฟอกที่ปราศจากคลอรีน (Elemental Chlorine Free bleaching) แบบ D-E_p-D จากนั้นนำเยื่อมาทำการขึ้นแผ่นทดสอบมาตรฐาน ทำการทดสอบความทางด้านทัศนศาสตร์ คือความขาวสว่างของเยื่อ และทดสอบของสมบัติทางกายภาพคือ น้ำหนักมาตรฐาน สมบัติทางเชิงกลคือ ความต้านแรงดึงขาด ความต้านแรงฉีกขาด ความต้านทางแรงดันทะลุ ทำการทดสอบเหมือนกันทั้ง 3 สภาวะการฟอก จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อคือ ที่ระดับ effective alkali ที่ร้อยละ 25 และ sulfidity ที่ร้อยละ 30 ให้ผลผลิตเยื่อร้อยละ 34 มีค่าดัชนีความต้านแรงดึง 66.4 กิโลนิวตันเมตรต่อกิโลกรัม ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด 5.99 มิลลินิวตัน และดัชนีความต้านทานแรงดันทะลุ 4.05 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสภาวะการต้มเยื่อนี้ให้สมบัติทางเชิงกลของกระดาษสูงที่สุด แต่เยื่อที่ได้เหมาะที่จะนำไปผลิตเป็นกระดาษที่ไม่ฟอกขาว ส่วนสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ คือเยื่อที่ได้จากการต้มแบบซัลเฟตที่ระดับ effective alkali ที่ร้อยละ 25 และ sulfidity ที่ร้อยละ 30 ให้ค่า Kappa number ที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 22.6 และทำการฟอกแบบ D_1-E_p-D_2 ให้ค่าความขาวสว่างเท่ากับ 75 (%ISO) ซึ่งผ่านเกณฑ์ มอก.287-2533 ซึ่งสภาวะการต้มเยื่อนี้เมื่อนำไปฟอกจะให้สมบัติทางทัศนะศาสตร์ด้านความขาวสว่างสูงที่สุด สรุปได้ว่าต้นธูปฤาษีสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยสามารถนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษได้

พิษณุ นภากร [25] การวิจัยเรื่อง การเปรียบเทียบคุณภาพงานพิมพ์ระบบออฟเซต 4 สี ระหว่างหมึกชุดคุณภาพสูงกับหมึกชุดธรรมดา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบคุณสมบัติของหมึกพิมพ์ระหว่างหมึกชุดคุณภาพสูงกับหมึกชุดธรรมดา และเปรียบเทียบค่าขอบเขตสีของหมึกพิมพ์ทั้งสองชนิดที่พิมพ์ทดแทนกันในแต่ละสี และเปรียบเทียบลักษณะทางการพิมพ์ระหว่างหมึกชุดคุณภาพสูงกับหมึกชุดธรรมดา การทดลองเริ่มจากทำการออกแบบเทสฟอร์ม (Test Form) สำหรับพิมพ์ทดสอบ โดยมีองค์ประกอบต่างๆ เช่น แถบสีสำหรับวัดความดำหมึกพิมพ์ (Ink Density), ค่าขอบเขตสีของหมึกพิมพ์ (Color Gamut), วัดค่าพื้นที่เม็ดสกรีน (Dot Area), วัดค่าการจับหมึก (Ink Trapping) และรูปภาพในโทนสีต่างๆสำหรับเปรียบเทียบสีสัน จากนั้นนำหมึกพิมพ์ทั้ง 2 ชุดไปทำการทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ ค่าความเหนียว (Tack), ค่าความหนืด (Viscosity), การไหล (Flow), และค่าสี (CIE L*a*b*) เป็นต้น จากนั้นทำการพิมพ์ทดสอบ โดยแบ่งการพิมพ์ทดสอบเป็น 5 ครั้ง โดยแบ่งเป็นการพิมพ์ Set A, B, C, D, E โดยแต่ Set หมึกทั้ง 2 ชนิดใช้พิมพ์ทดแทนสีในแต่ละสี และทำการทดสอบ ค่าความดำ ค่าการจับหมึก ค่าเม็ดสกรีนบวม และค่าขอบเขตสี จากนั้นจัดทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความคิดเห็นของผู้มีประสบการณ์ด้านงานพิมพ์ ในด้านความเหมือนจริง

และสมดุลสีเทา, สีสันความสดใส จากผลการศึกษาพบว่า หมึกพิมพ์ชุดคุณภาพสูงมีค่าความเหนียว (Tack) มากกว่าหมึกชุดธรรมดา โดยมีผลต่อค่าการจับหมึกและการเกิดเม็ดสกรีนบวมเมื่อทำการทดแทนด้วยหมึกพิมพ์คุณภาพสูง ทำให้ค่าเม็ดสกรีนบวมลดลง สำหรับค่าความดำนั้นการพิมพ์ในแต่ละ Set ให้ค่าความดำที่ใกล้เคียงกันและอยู่ในเกณฑ์การควบคุมในขั้นตอนการพิมพ์ ส่วนการทดสอบและเปรียบเทียบค่าขอบเขตสีนั้นพบว่า เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกชุดคุณภาพทดแทนเฉพาะสีม่วงแดง (M) ทำให้ค่าขอบเขตสีเพิ่มขึ้นมากที่สุด รองลงมาคือสีน้ำเงินเขียว (C) ส่วนสีเหลือง (Y) เมื่อพิมพ์ด้วยหมึกชุดคุณภาพสูงกลับให้ค่าขอบเขตสีที่น้อยกว่าหมึกชุดธรรมดา เมื่อนำค่าขอบเขตสีของหมึกทั้งสองชนิดมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ISO FORA39 พบว่า หมึกชุดคุณภาพสูงมีค่าขอบเขตสีที่ใกล้เคียงมาตรฐานมากกว่าหมึกชุดธรรมดา ทั้งนี้ค่าเม็ดสกรีนบวมมีผลต่อสีสันและขอบเขตสีของงานพิมพ์ สำหรับการประเมินผลจากผู้มีประสบการณ์พบว่า การทดแทนด้วยหมึกชุดคุณภาพสูงเฉพาะสีน้ำเงินเขียว (C) ทำให้งานพิมพ์สดใสขึ้นอย่างชัดเจน การทดแทนเฉพาะสีม่วงแดง (M) ภาพพิมพ์ที่ได้ไม่มีความแตกต่าง การทดแทนเฉพาะสีเหลือง (Y) ทำให้ภาพมีความสมดุลและเสมือนจริงมากขึ้น แต่จะให้สีสันที่ด้อยกว่าหมึกชุดธรรมดา และการพิมพ์ด้วยหมึกชุดคุณภาพสูงทั้งหมดนั้นให้งานพิมพ์ภาพมีความสมดุลสีเทาและเสมือนจริงมากกว่า แต่แต่จะให้สีสันที่ด้อยกว่าหมึกชุดธรรมดา สรุปได้ว่า การพิมพ์ทดแทนด้วยหมึกชุดคุณภาพสูงจะให้งานพิมพ์ที่ได้มาตรฐานมากกว่าหมึกชุดธรรมดา